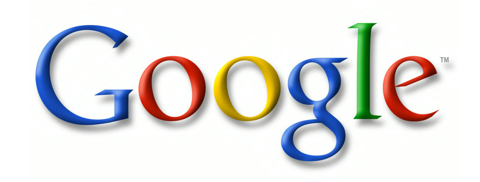
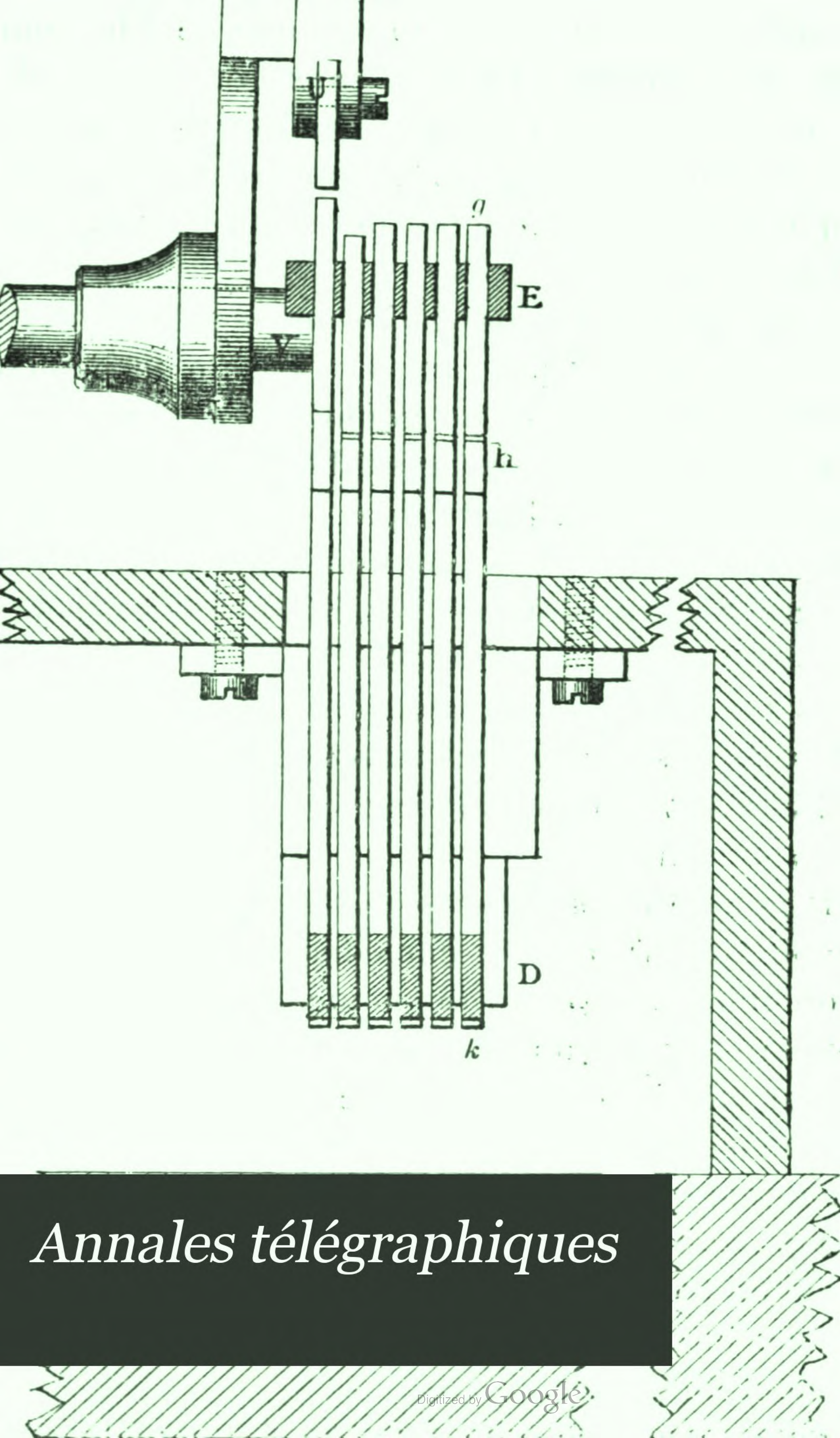




Annales télégraphiques



ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME DIX-NEUVIÈME

PARIS

Vve Ch. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1892

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

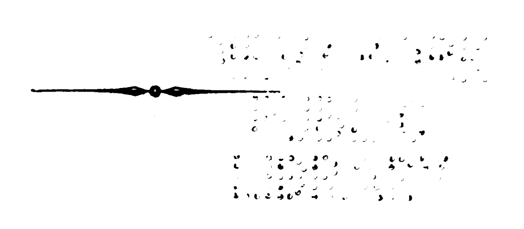
PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

TROISIÈME SÉRIE

TOME XI

Année 1892



PARIS

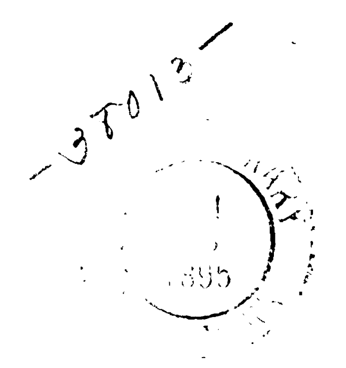
V[VE] CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49

1892





ANNALES
TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 Janvier-Février

DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE
DE LA
VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

M. Hertz, à qui l'on doit d'avoir établi expérimentalement l'existence des ondulations électromagnétiques, a été, comme on sait, moins heureux lorsqu'il a cherché à démontrer que leur vitesse de propagation dans l'air est précisément égale à la vitesse de la lumière. Le fait de la résonance multiple, découvert par MM. Sarasin et de la Rive, a, comme l'a montré M. Cornu (*), rendu incertain le principe même de la méthode employée par M. Hertz; de plus, M. H. Poincaré a signalé l'omission du facteur $\sqrt{2}$ dans le calcul de la période (**).

Plus récemment M. Lecher, qui a découvert un pro-

(*) *Comptes rendus*, 1890, CX, p. 75.
(**) *Comptes rendus*, 1890, CXI, p. 322.

cédé très exact pour mesurer les longueurs d'ondes électromagnétiques, a cherché à résoudre la question par une méthode fondée sur ce procédé (*). Malheureusement, MM. Cohn et Hærwagen ont constaté depuis (**) que les expériences de M. Lecher sont fondées sur une théorie inexacte, que c'est uniquement par hasard qu'elles l'ont conduit à assigner aux ondes électriques une vitesse de propagation égale à celle de la lumière, et qu'en suivant la méthode de M. Lecher on obtient, suivant les conditions de l'expérience, des valeurs très différentes de la vitesse. La question restait donc entière quand j'ai entrepris le présent travail.

Je vais d'abord indiquer la suite des idées qui m'ont conduit à la méthode que j'ai employée pour étudier la vitesse de propagation des ondes électriques.

Puisque, comme l'ont montré MM. Sarasin et de la Rive, c'est le résonateur qui détermine la longueur d'onde qu'on observe, l'équation $\lambda = VT$, qui relie la longueur d'onde λ à la vitesse de propagation V et à la période T, doit être vérifiée si l'on substitue à λ et à T les valeurs de la longueur d'onde et de la période propres au résonateur employé, et à V la vitesse de propagation des ondes.

Les observations classiques de N. Savart sur les interférences produites par la réflexion d'une onde sonore sur une surface plane dans un milieu indéfini nous offrent un cas tout pareil (***). Savart a, en effet, reconnu que, si on explore à l'aide d'un résonateur le champ sonore dû à un bruit complexe, tel que celui de

(*) *Wienen Sitzungsberichte*, 99, p. 340, 1890.
(**) *Wiedemann's Annalen*, XLIII, p. 344.
(***) *Comptes rendus*, t. VII, p. 1068.

la mer, d'une voiture roulant sur le pavé, d'une chute d'eau, etc., on observe une série de nœuds dont l'intervalle est la moitié de la longueur d'onde du son propre du résonateur employé; autrement dit, pour chaque résonateur, l'équation $\lambda = VT$ est satisfaite si l'on y substitue à V la vitesse du son, à T la période propre au résonateur, et à λ le double de l'internœud trouvé en explorant ce champ avec le résonateur. Appliquant cette proposition au cas de ce que j'appellerai le *bruit électrique*, produit par l'excitateur de Hertz, on voit que, pour connaître la vitesse de propagation des ondes électriques, il suffit de déterminer, d'une part la période T du résonateur, d'autre part la longueur d'onde λ définie par ce dernier. Tel est le programme que je me suis proposé de remplir.

Après avoir essayé infructueusement de mesurer T par l'expérience, j'ai tourné la difficulté en construisant le résonateur de telle façon que l'on pût déterminer à coup sûr sa période par un calcul s'appuyant sur les lois les mieux établies de l'électromagnétisme. Je vais décrire l'un de ces résonateurs.

Un condensateur est formé par deux armatures circulaires en laiton A'A'', B'B'' (*fig.* 1), de 6 centimètres de rayon et dont l'écartement est une fraction de millimètre; ces deux armatures sont reliées entre elles par un circuit rectangulaire ACDEFB, formé d'un fil de cuivre de $0^{cm},184$ de diamètre, dont les extrémités A et B sont implantées près des bords des armatures; le côté DE a une longueur de 20 centimètres, le côté DC une longueur de 10 centimètres. L'épaisseur du condensateur, armatures et diélectrique, étant 1 centimètre,

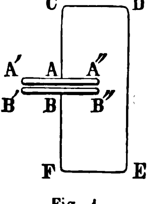


Fig. 1.

la longueur totale est 59 centimètres. Cette longueur étant petite par rapport à la longueur d'onde λ, comme la mesure de λ l'a confirmé ultérieurement, il en résulte que, lorsque le résonateur fonctionne, *l'intensité du courant oscillatoire est sensiblement la même dans toute la longueur du circuit.*

En conséquence, on peut appliquer au résonateur la formule donnée par sir W. Thomson pour la décharge oscillatoire d'une batterie; comme M. Lippmann a montré d'autre part que, dans le cas d'oscillations très rapides, on peut négliger la résistance, la formule devient dans le cas présent, en désignant par C la capacité du condensateur, et par L la self-induction du circuit :

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

On a donc à déterminer C et L en unités électromagnétiques. La signification précise de C est la suivante : c'est la charge que prend l'une des armatures du condensateur lorsqu'elle est portée au potentiel $+\frac{1}{2}$, l'autre étant au potentiel $-\frac{1}{2}$, les potentiels étant, bien entendu, mesurés en unités électromagnétiques.

Pour mesurer cette capacité, j'ai employé la méthode, aujourd'hui classique, donnée par Maxwell dans le second volume de son *Traité sur l'électricité et le magnétisme*, article 775. Afin d'obtenir la valeur précise de C définie plus haut, on employait une pile composée d'un nombre pair de couples, dont le milieu était réuni au sol, ou bien, ce qui revient au même, on opérait en mettant à la terre l'une des armatures et corrigeant ultérieurement le résultat à l'aide d'une

seconde expérience (*). On retranchait la capacité des fils de communication mesurée par une expérience spéciale.

Reste à déterminer la self-induction L du circuit. Remarquons d'abord que le courant doit être considéré comme fermé, grâce au déplacement électrique qui se produit entre les deux lames du condensateur. Ce courant peut être décomposé en courants linéaires juxtaposés, soit ds la longueur d'un élément d'un de ces courants et i son intensité ; soient de même ds' et i' la longueur et l'intensité d'un autre élément de courant, r la distance de ces deux éléments et ε leur angle, le potentiel total du courant sur lui-même est :

$$\iint \frac{ii' ds\, ds' \cos\varepsilon}{r},$$

cette somme s'étendant à tous les éléments linéaires constituant le courant total. Voici comment je calcule cette somme.

Je rappellerai d'abord que M. Hertz a établi expérimentalement que des courants aussi rapides que ceux qui se produisent ici sont entièrement localisés à la surface des conducteurs, dans lesquels ils ne pénètrent pas à une profondeur appréciable. Les deux éléments ds et ds' qui entrent dans un terme de la somme appartiennent, soit au même segment rectiligne du fil, soit à deux segments différents. Considérons d'abord le premier cas : la somme des termes qui lui correspond se trouve toute faite dans le cours de M. H. Poincaré (*Électricité et Optique*, t. II, p. 156) ; c'est, en désignant par l et d la longueur et le diamètre du segment cylindrique considéré, et l'intensité du cou-

(*) Voir Cohn et Heerwagen, *loc. cit.*, p. 355.

rant total étant supposée égale à l'unité électromagnétique,

$$2l\left(\mathrm{L}.\frac{4l}{d}-1\right);$$

on aura ainsi cinq termes pour les segments AC, CD, DE, EF, FB, et en ajoutant les résultats on obtiendra toute la portion de l'intégrale double se rapportant au cas où le ds et le ds' entrant dans un terme se trouvent sur le même segment rectiligne.

Considérons maintenant le second cas : si ds et ds' appartiennent à deux segments perpendiculaires entre eux, $\cos \varepsilon = 0$ et les termes correspondants de l'intégrale sont nuls; restent les couples de segments parallèles :

CD, EF, pour lequel $\cos \varepsilon = -1$,
AC, DE, id.
FB, DE, id.
AC, FB, pour lequel $\cos \varepsilon = +1$.

Le diamètre du fil étant très petit, par rapport aux côtés du rectangle, on peut sans erreur sensible considérer dans le calcul de ces sommes les fils comme réduits à leurs axes. Les calculs, quoique longs, s'effectuent alors sans difficulté. Je ne les reproduirai pas ici. On n'a pas à tenir compte des courants qui ont leur siège dans le condensateur lui-même, car le flux d'électricité y est tellement épanoui que la portion d'intégrale qui s'y rapporte ne peut être qu'extrêmement petite.

Connaissant ainsi C et L, et par suite la période T, on n'a plus qu'à mesurer la longueur d'onde λ déterminée par le résonateur pour en déduire la vitesse de propagation des ondes de longueur λ. Comme

MM. Sarasin et de la Rive ont établi expérimentalement que la vitesse de propagation des ondes est la même dans l'air que le long de fils métalliques (*), j'ai employé ce dernier mode de propagation.

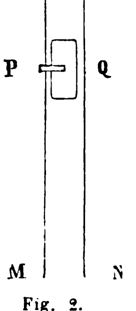


Fig. 2.

Pour cela, deux fils de cuivre horizontaux MN, M'N', d'environ 25 mètres de longueur, sont tendus parallèlement de façon que leur distance excède d'environ 1 centimètre le côté CD du circuit rectangulaire du résonateur; un pont μν en fil de cuivre, mobile le long des fils parallèles, sert à établir une communication entre eux à une distance quelconque des extrémités M et N; on a ainsi un circuit MμνN, terminé aux extrémités M et N. Le long de ce circuit on envoie des ondes électriques très rapides à l'aide du dispositif employé par M. Hertz et par MM. Sarasin et de la Rive (**); l'excitateur est disposé au delà de MN.

Le résonateur est installé à environ 10 mètres de M'N', vers PQ; il est fixé à l'aide d'un support isolant approprié, de façon que les deux grands côtés DE et CE du circuit rectangulaire soient dans le plan des fils parallèles, compris entre eux et parallèles à eux; ils en sont distants d'environ 1/2 centimètre. Afin de pouvoir placer le circuit rectangulaire entre les fils pa-

(*) *Ann. des sciences phys. et natur.*, t. XXIII, p. 557, 1890.

(**) En réalité, j'ai employé la plupart du temps pour transmettre les ondulations un autre procédé que je décrirai ailleurs; du reste, dans les expériences présentes, ce procédé donne exactement les mêmes résultats que celui de M. Hertz.

rallèles sans être gêné par le condensateur, on a disposé ce circuit de façon que le rectangle, dont le plan est normal au résonateur, coupe celui-ci suivant une corde, comme le représente la figure.

Le résonateur est muni d'un petit micromètre à étincelles, formé d'une boule soudée à l'une des armatures et d'une pointe fixée à l'autre ; la distance explosive peut être réglée à volonté à l'aide d'une vis.

L'appareil ainsi disposé, plaçons le pont à quelques décimètres du résonateur, entre celui-ci et M'N', puis faisons fonctionner la bobine de l'excitateur ; aussitôt un flux brillant d'étincelles jaillit au micromètre du résonateur ; si l'on éloigne peu à peu le pont, les étincelles diminuent d'éclat, puis finissent par dispa-

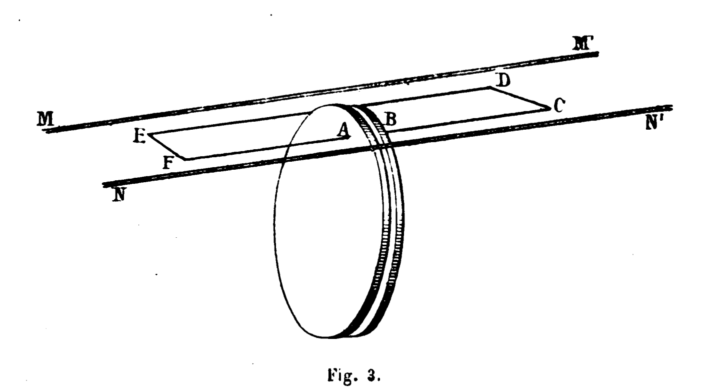


Fig. 3.

raître ; si l'on continue à éloigner le pont, les étincelles reparaissent au bout de quelques centimètres, puis deviennent de plus en plus brillantes. Il y a ainsi un intervalle dans lequel on peut déplacer le pont sans qu'il y ait d'étincelles. Resserrons les limites de cet intervalle en réglant la distance explosive, puis prenons leur moyenne : soit $\mu_1 \nu_1$ la position du pont

ainsi déterminée ; la longueur $P\mu_1\nu_1Q$ est, comme l'ont établi MM. Sarasin et de la Rive, la moitié de la longueur d'onde propre au résonateur.

En divisant la valeur de λ ainsi obtenue par la valeur de T déterminée comme on l'a vu plus haut, on a la vitesse de propagation pour la longueur d'onde employée.

J'ai employé successivement quatre résonateurs, que je désignerai par des numéros d'ordre, et dont je vais donner les dimensions :

I. Condensateur de 6 centimètres de rayon, diamètre du rectangle $6^{cm},3$ et $10^{cm},2$; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N' ; L = 246,66.

II. Condensateur de 6 centimètres de rayon ; diamètre du fil $0^{cm},184$; côtés du rectangle 10 centimètres et 20 centimètres ; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N' ; L = 518,2 (c'est le résonateur qui a été pris comme exemple dans la description).

III. Condensateur de 6 centimètres de rayon ; diamètre du fil $0^{cm},3$; côtés du rectangle, 10 centimètres et 20 centimètres ; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N' ; L = 460.

IV. Condensateur de 10 centimètres de rayon ; diamètre du fil, $0^{cm},22$; côtés du rectangle, 10 centimètres et 40 centimètres ; les grands côtés parallèles aux fils MN, M'N' ; L = 973,2.

Chacun de ces quatre résonateurs pouvait servir à un nombre illimité d'expériences différentes, car on pouvait faire varier la capacité C en écartant plus ou moins les armatures du condensateur ; ces armatures étaient maintenues à la distance choisie par quatre cales formées d'un fragment de baguette de verre étiré à la lampe et collé avec de l'arcanson.

Voici les résultats de onze expériences rangées suivant les longueurs d'onde croissantes :

Numéro du résonateur.	Longueur d'onde.	Vitesse.	
I	$8^m,94$	299.300^{kg}	par seconde.
I	11 ,04	304.100	—
I	11 ,58	301.400	—
II	14 ,32	300.800	—
II	16 ,20	298.700	—
II	18 ,32	293.400	—
III	18 ,30	300.700	—
II	22 ,68	288.300	—
III	25 ,72	295.800	—
II	27 ,28	292.700	—
IV	35 ,36	291.400	—

J'ai encore varié l'expérience de la manière suivante :

Après avoir déterminé une première position $\mu_1 \nu_1$ du pont produisant l'extinction du résonateur, j'ai éloigné ce pont de façon à déterminer une seconde position $\mu_2 \nu_2$ produisant une nouvelle extinction : la longueur $P\mu_2\nu_2Q$ est alors égale à $3\frac{\lambda}{2}$; on obtient de même une troisième position du pont donnant $5\frac{\lambda}{2}$, et ainsi de suite. En employant pour cette expérience le résonateur n° 1, j'ai trouvé pour la longueur d'onde, à l'aide de la première position du pont, $11^m,04$, ce qui donne pour la vitesse 304.100 (c'est la seconde expérience du tableau), et à l'aide de la seconde $10^m,90$, ce qui donne pour la vitesse 300.500. En donnant au même résonateur une capacité un peu plus grande, j'ai trouvé, à l'aide de la première position du pont, $11^m,58$ pour la longueur d'onde, ce qui donne pour la vitesse 301.400 (c'est la troisième expérience du tableau), et à l'aide

de la seconde $11^{m},60$, ce qui donne pour la vitesse 302.000; la troisième position a donné une troisième valeur de la longueur d'onde, que par mégarde je n'ai pas notée, mais qui, j'en ai le souvenir certain, s'accordait parfaitement avec les deux premières.

On voit que les valeurs de la vitesse offrent une grande concordance, quoique les valeurs d'onde aient varié du simple au quadruple; la concordance est aussi grande que le comporte le degré de précision dans la détermination des positions du pont pour lesquelles l'extinction a lieu. Le tableau montre aussi que les dimensions du circuit rectangulaire sont sans influence sur la valeur de la vitesse et qu'il en est de même du diamètre du fil, quoique la self-induction soit une fonction de ces quantités. De plus, j'ai fait varier dans une large mesure les dimensions de l'excitateur primaire sans observer une variation de la longueur d'onde.

De tout ce qui précède on peut conclure que : *les ondulations électriques ont une vitesse de propagation unique, indépendante de la longueur d'onde, et que cette vitesse a une valeur voisine de* 297.600 *kilomètres par seconde*, moyenne des treize déterminations rapportées.

D'après la théorie de Maxwell, la vitesse de propagation des ondes électriques doit être égale au rapport de l'unité électromagnétique à l'unité électrostatique d'électricité. La détermination de ce rapport a été l'objet de nombreux travaux de précision; voici les résultats des plus récents qui semblent les plus exacts :

Ayrton et Perry	296.000×10^5
J. Thomson	296.300×10^5
Himstedt	300.800×10^5

Sir W. Thomson.	300.400×10^5
E. B. Rosa.	300.000×10^5
Rowland.	298.200×10^5
Pellat	300.900×10^5

On voit que l'écart entre la valeur de la vitesse qui résulte de mes expériences, 297.600×10^5 centimètres par seconde, et ces déterminations, n'est pas plus grand que les différences qui existent entre quelques-unes d'entre elles. Les prévisions de Maxwell sont ainsi entièrement vérifiées par l'expérience. En même temps, l'application de la formule $T = 2\pi\sqrt{CL}$ aux résonateurs que j'ai employés se trouve confirmée *a posteriori*.

Afin de ne pas interrompre l'exposé de mes expériences et de leurs résultats, j'ai passé sous silence un certain nombre de détails et de particularités sur lesquelles je vais maintenant revenir.

Une première difficulté est la suivante : la région où se trouve le pont est trop éloignée de celle qu'occupe le résonateur pour qu'une même personne puisse à la fois observer l'étincelle et déplacer le pont, à moins d'employer un mécanisme compliqué. On eût pu, il est vrai, laisser le pont immobile et déplacer le résonateur, mais les secousses qui se produisent lors de cette translation dérèglent presque infailliblement le micromètre à étincelles : les expériences en sont rendues plus longues et moins précises. Il est préférable d'opérer à deux : une personne déplace le pont et une autre observe l'étincelle; cette dernière tient à la main un bâton avec lequel elle frappe sur le parquet des coups répétés, d'autant plus forts et plus fréquents que le flux d'étincelles est plus vif; ce bruit donne à la personne qui manie le pont une représentation fidèle des varia-

tions de l'étincelle : on arrive ainsi à une détermination précise des limites de l'extinction.

J'ai été aidé dans ces expériences minutieuses par trois collaborateurs habiles et dévoués, MM. A. Perot, J. Colin et M. Dufour, qui ont bien voulu aussi se charger d'une grande partie des calculs numériques; je leur exprime ici mes bien sincères remerciements.

Une précaution importante consiste à déterminer les limites par l'extinction et non par le rallumage : leur intervalle est ainsi plus resserré, grâce à ce que l'échauffement produit par l'étincelle en facilite la prolongation.

Le fait capital de la résonance multiple, découvert par MM. Sarasin et de la Rive, n'exclut pas toute influence de l'excitateur sur la résonance; cette influence consiste dans le plus ou moins de netteté des maxima et des minima de l'étincelle secondaire, selon que l'excitateur et le résonateur sont plus ou moins près d'être d'accord. Par exemple, le résonateur nº 1, avec la capacité qu'il avait dans la première expérience du tableau, donnait à peine quelques étincelles sans maxima ni minima marqués, sous l'influence d'un excitateur de grandes dimensions qui, au contraire, donnait avec les résonateurs 2, 3 et 4 de bonnes déterminations. Ce fait a déjà été remarqué par MM. Cohn et Heerwagen (*). Pour faire des déterminations précises, il est important de chercher empiriquement pour chaque résonateur les dimensions de l'excitateur qui donnent les limites les plus rapprochées; du reste, l'accord n'a pas besoin d'être complet : comme je l'ai dit précédemment, il existe une grande latitude à ce sujet.

(*) *Loc. cit.*, p. 370.

Voici encore une particularité intéressante : lorsqu'on est loin de l'accord, les deux limites de la disparition de l'étincelle ne sont pas également nettes; si l'excitateur a une période trop longue, la limite supérieure de la longueur d'onde est plus franche que l'autre; s'il a une période trop courte, c'est la limite inférieure qui est mieux accentuée. On est guidé par là quand on recherche les dimensions convenables de l'excitateur; une fois celles-ci obtenues, non seulement l'intervalle de disparition de l'étincelle est très petit, mais de plus les deux limites présentent la même netteté. Il faut remarquer que c'est seulement lorsque cette symétrie dans la netteté existe que l'on est en droit de prendre le milieu des positions limites d'extinction pour la position du minimum; lorsqu'il y a dissymétrie, il semble que le minimum soit plus près de la limite la plus nette que de l'autre. Je n'ai étudié ces questions incidentes que dans ce qu'elles avaient d'intéressant pour le but principal que je me proposais; elles mériteraient certainement une étude spéciale.

Enfin, j'ai vérifié que le diamètre des fils parallèles est sans influence, et j'ai reconnu que leur longueur totale est indifférente, à condition qu'ils soient assez longs pour que le résonateur ne soit pas tout près de l'excitateur.

La méthode que j'ai employée pour déterminer la vitesse de propagation des ondes électriques repose uniquement sur des faits expérimentaux : elle est indépendante de toute théorie de la résonance. Il y a néanmoins un intérêt capital à constater que cette théorie, telle qu'elle a été établie par MM. H. Poincaré et V. Bjerknes, confirme à son tour le fondement de ma méthode. MM. H. Poincaré et V. Bjerknes ont établi

mathématiquement, chacun de son côté, que si l'amortissement de l'excitateur est très grand par rapport à celui du résonateur, il doit se produire un système de nœuds et de ventres correspondant à la période d'oscillations propre au résonateur (*). Or, des expériences électrométriques ont montré à M. V. Bjerknes que le décrément logarithmique est pour l'excitateur 0,26, et pour le résonateur 0,002 seulement (**); la condition ci-dessus est donc remplie. Par conséquent, l'application que j'ai faite au résonateur de l'équation $\lambda = VT$ se trouve entièrement justifiée. Le mécanisme de la production des nœuds et des ventres dans mes expériences est évidemment tout à fait analogue à celui que M. V. Bjerknes indique pour le cas de la réflexion contre une surface plane dans un milieu indéfini (***). Chaque protubérance de l'onde excitatrice communique deux impulsions au résonateur : l'une à l'aller par l'un des fils, l'autre par l'autre fil, après qu'elle a franchi le pont; la seconde impulsion renforce ou annulle l'effet de la première, selon que le résonateur a dans l'intervalle accompli un nombre pair ou impair de demi-oscillations. Donc le résonateur sera dans un état vibratoire très fort ou très faible, selon que la longueur $P\mu\nu Q$ sera un multiple pair ou impair de la demi-longueur d'onde qui correspond à ses vibrations propres.

Résumé et conclusions. — J'ai mesuré la vitesse de

(*) H. Poincaré, sur la résonance multiple des oscillations hertziennes (*Archives des sciences ph. et nat.*, 1891, t. XXV, p. 609). — V. Bjerknes, Ueber die Erscheinung der multiplen Resonanz electrischer Wellen (*Wiedemann's Annalen*, 1891, Bd. XLIV, p. 99).

(**) V. Bjerknes, Ueber Die Dämpfung schneller electrischer Schwingungen (*Wiedemann's Annalen,* Bd. XLIV, p. 89).

(***) *Loc. cit.*, p. 93.

propagation des ondes électromagnétiques à l'aide d'une méthode basée uniquement sur l'expérience et sur les lois les mieux établies de l'électromagnétisme. J'ai trouvé pour cette vitesse une valeur indépendante de la longueur d'onde et égale à 297.600 kilomètres par seconde. Cette valeur est, au degré d'approximation des expériences, égale au rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques d'électricité; elle est aussi égale, au même degré d'approximation, à la vitesse de la lumière.

Il serait téméraire de conclure de cette égalité que les vibrations lumineuses sont un cas particulier des vibrations électromagnétiques; toutefois, on ne peut méconnaître que le résultat obtenu soit favorable à cette hypothèse.

R. BLONDLOT.

SUR UNE

SIMILITUDE DANS LES FONCTIONS DES MACHINES

---

1. Pour étudier les machines dynamo, les praticiens ont intérêt à en représenter les principales fonctions par des courbes, telles que les caractéristiques de M. Marcel Deprez. Quand on passe d'une machine à une autre, la courbe conserve généralement la même nature. Pour passer de la première courbe à la deuxième, il suffit de changer les échelles des coordonnées. C'est cette sorte de similitude qu'il s'agit d'expliquer. M. Lucas y est parvenu par un changement de variable pour deux cas qui m'ont suggéré un théorème général.

2. M. Lucas calcule un cas théorique simple d'alternateur (*Traité pratique d'électricité*, Baudry, 1892). Si on regarde l'intensité moyenne du courant I comme fonction de la vitesse de rotation, en laissant constante la résistance totale R, on a une *courbe d'intensité*. M. Lucas obtient, pour la représenter, la formule

$$I^2 = \frac{\frac{2\pi^2 Q^2}{T^2}}{R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2}}, \tag{1}$$

où Q est le flux inducteur maximum et L le coefficient de self-induction de l'induit. Puis il fait le changement

de variables

$$(2) \qquad x = \frac{2\pi L}{R}\frac{1}{T}, \quad y = \frac{L\sqrt{2}}{Q} I,$$

et obtient

$$(3) \qquad x^2y^2 + y^2 - x^2 = 0.$$

La courbe (3) est indépendante des données de la machine. La courbe (1) s'en déduit en changeant les deux échelles des coordonnées, et ce changement dépend des constantes caractéristiques de la machine. La similitude est donc établie. M. Lucas traite par la même méthode les *courbes de puissance*.

3. Voici maintenant ma démonstration générale. Soit

$$(1) \qquad f(X, Y, A_1, A_2, \ldots) = 0$$

l'équation qui lie les variables X, Y aux constantes A_1, $A_2\ldots$ caractéristiques de la machine. Pour une autre machine du même type, on aura de nouvelles constantes B_1, $B_2\ldots$ et la nouvelle équation sera

$$(2) \qquad f(X, Y, B_1, B_2, \ldots) = 0.$$

Comme toute équation de la physique, l'équation (2) est homogène par rapport aux trois grandeurs fondamentales : longueur, temps et masse. Si donc on choisit de nouvelles unités pour ces trois grandeurs, et si on représente par des petites lettres les nouvelles mesures des quantités représentées d'abord par les grandes lettres, on aura encore

$$(2)' \qquad f(x, y, b_1, b_2, \ldots) = 0.$$

Maintenant on peut disposer des trois unités fondamentales de façon à donner à trois nombres b_1, b_2, b_3 des valeurs égales aux nombres A_1, A_2, A_3 qui me-

surent les constantes homologues de la première machine dans le premier système d'unités. Dès maintenant, je suis conduit à supposer que l'équation (1) ne contient pas plus de trois constantes caractéristiques de la machine. Dans cette hypothèse, l'équation (2)′ de la deuxième machine devient identique à l'équation (1) de la première. Seulement, dans la deuxième machine, les variables x et y sont évaluées dans un système d'unités différent de celui qui à servi à mesurer les variables homologues X et Y de la première machine. Ce changement d'unités est représenté graphiquement par un changement dans les échelles des coordonnées de la courbe caractéristique (2)′. En résumé, le seul principe d'homogénéité conduit à ce théorème général :

Si l'équation d'une fonction d'un type de machines ne contient pas plus de trois constantes caractéristiques, les courbes des diverses machines de ce type se déduisent les unes des autres en changeant seulement les échelles des coordonnées.

Dans ce théorème général rentrent les deux exemples de M. Lucas; les équations de ces exemples, étant à trois termes, ne renferment que deux coefficients.

4. Le théorème est soumis à une restriction que la démonstration met en évidence : *il faut que les mesures des trois constantes caractéristiques soient des fonctions indépendantes entre elles des trois unités fondamentales.* Ce n'est pas le cas de l'équation différentielle du courant dans les alténateurs étudiés ci-dessus, savoir

$$I + \frac{L}{R}\frac{dI}{dt} - \frac{E_0}{R}\sin\frac{2\pi t}{T} = 0,$$

où I est l'intensité à l'époque t, E_0 la force électro-

motrice maximum d'induction, L, R, T le coefficient de self-induction, la résistance de l'induit et la période. L'équation contient bien trois coefficient seulement : $\frac{L}{R}$, $\frac{E_0}{R}$, $\frac{2\pi}{T}$; mais le premier et le dernier ont pour représentations symboliques

$$\frac{L}{R} = (T), \quad \frac{2\pi}{T} = (T^{-1}).$$

Ils dépendent seulement du temps. On ne pourra donc pas choisir les unités fondamentales de façon à donner simultanément à ces deux coefficients des valeurs arbitraires. La démonstration générale échoue ainsi que les transformations de M. Lucas.

E. Carvallo.

SUR

LES LOIS DE SIMILITUDE EN PHYSIQUE

La loi de similitude la plus générale en mécanique et en physique résulte du théorème suivant :

Soient $a_1, a_2, a_3, \ldots a_n$ des quantités physiques, dont les p premières sont rapportées à des unités fondamentales distinctes et les $(n-p)$ dernières à des unités dérivées des p unités fondamentales (par exemple a_1 peut être une longueur, a_2 une masse, a_3 un temps, et les $(n-3)$ autres quantités $a_4, a_5, \ldots a_n$ seraient des forces, des vitesses, etc.; alors $p=3$). Si entre ces n quantités il existe une relation :

$$F(a_1, a_2, \ldots a_n) = 0, \qquad (1)$$

qui subsiste quelles que soient les grandeurs arbitraires des unités fondamentales, cette relation peut se ramener à une autre entre $(n-p)$ paramètres au plus, soit :

$$f(x_1, x_2, \ldots x_{n-p}) = 0, \qquad (2)$$

les paramètres $x_1, x_2, \ldots x_{n-p}$ étant des fonctions monomes de $a_1, a_2, \ldots a_n$ (par exemple $x_1 = \mathrm{A} a_1^{\alpha_1} a_2^{\alpha_2} \ldots a_n^{\alpha_n}$).

Dans le cas particulier où $n = 5$ et $p = 3$, on retrouve le théorème donné par M. Carvallo (*).

Pour démontrer le théorème que nous venons d'é-

(*) Voir p. 21.

noncer, remarquons que les quantités $a_{p+1}, a_{p+2}, \dots a_n$ étant rapportées à des unités dérivées, cela revient à dire que l'on peut trouver des exposants $\alpha, \beta, \dots \alpha', \beta' \dots$ tels que les valeurs numériques des rapports

$$\frac{a_{p+1}}{a_1^\alpha a_2^\beta \dots a_p^\lambda} = x_1, \quad \frac{a_{p+2}}{a_1^{\alpha'} a_2^{\beta'} \dots a_p^{\lambda'}} = x_2, \dots,$$

soient indépendantes des valeurs arbitraires des unités fondamentales. (Ainsi a_1, a_2, a_3, a_4 désignant respectivement une longueur, une masse, un temps et une force, le rapport $\dfrac{a_4}{a_1 a_2 a_3^{-2}}$ aurait une valeur indépendante du choix des unités). Or, la relation donnée (1)

$$F(a_1, a_2, \dots a_p, a_{p+1}, a_{p+2}, \dots) = 0,$$

peut s'écrire :

$$F\left(a_1, a_2, \dots a_p, x_1 a_1^\alpha \dots a_p^\lambda, x_2 a_1^{\alpha'} \dots a_p^{\lambda'}, \dots\right) = 0,$$

ou plus simplement

$$f(a_1, a_2, \dots a_p, x_1, x_2, \dots x_{n-p}) = 0. \qquad (3)$$

Mais, en faisant varier les grandeurs des unités fondamentales, on pourra faire varier arbitrairement les valeurs numériques des quantités $a_1, a_2, \dots a_p$ dont les grandeurs intrinsèques sont supposées fixes, tandis que les valeurs numériques de $x_1, x_2, \dots x_{n-p}$ ne changeront point. La relation (3) devant subsister, quelles que soient les valeurs arbitraires de a_1, a_2, $\dots a_p$, doit être indépendante de ces paramètres ; cette relation prend ainsi la forme la plus simple (2).

C. Q. F. D.

Applications. 1° si la durée T de l'oscillation d'un pendule ne dépend que de sa longueur l, de sa masse

m, de l'accélération de la pesanteur g et de l'écart angulaire initial α, on aura la relation inconnue :

$$F(T, l, m, g, \alpha) = 0.$$

En prenant comme unités fondamentales celles de longueur, temps et masse, et posant :

$$\frac{gT^2}{l} = x_1,$$

on écrira :

$$F(T, l, m, x_1 l T^{-2}, \alpha) = 0,$$

ou :

$$f(T, l, m, x_1, \alpha) = 0,$$

T, l, m devant disparaître de cette relation, il vient :

$$f(x_1, \alpha) = 0,$$

ce qui peut se mettre sous la forme connue :

$$T = \sqrt{\frac{l}{g}}\,\varphi(\alpha).$$

Nota. — Ici l'un des paramètres (α) a une valeur numérique indépendante du choix des unités.

2° Si l'intensité du courant reçu à l'extrémité d'une ligne télégraphique à l'époque t (comptée à partir du moment où la pile a été mise en communication avec la ligne) ne dépend que du temps t, de la longueur l de la ligne, de sa capacité C, de sa résistance R et de la force électromotrice E de la pile (hypothèse justifiée dans certains cas), on posera la relation :

$$F(t, l, C, R, E, i) = 0,$$

ou encore :

$$f\left(t, l, C, \frac{t}{CR}, CE^2, \frac{Ri}{E}\right) = 0.$$

Les rapports $\frac{t}{CR}$ et $\frac{Ri}{E}$ ont des valeurs numériques

indépendantes du choix des unités, tandis que t, l, C et CE^2 représentant un temps, une longueur, une capacité et une énergie (ou travail) sont rapportés à quatre unités fondamentales distinctes. Ces quatre derniers paramètres doivent donc disparaître, et il reste :

$$f\left(\frac{t}{CR}, \frac{Ri}{E}\right) = 0,$$

ou

$$i = \frac{E}{R}\varphi\left(\frac{t}{CR}\right),$$

ce qui donne la loi de similitude bien connue de Sir W. Thomson. Pour étudier le régime du courant, il suffit de construire une seule courbe ayant pour abscisse $\frac{t}{CR}$ et pour ordonnée $\frac{Ri}{E}$.

On voit qu'en électricité on a une quatrième unité fondamentale. (Dans l'exemple précédent on a $n = 6$, $p = 4$.)

Notre raisonnement ne suppose nullement que l'on ait fait le choix d'un système électrostatique, électromagnétique ou autre d'unités.

VASCHY.

SUR UNE MÉTHODE

DE

DÉTERMINATION DES ONDES ÉLECTRIQUES

Les conditions deviennent plus compliquées lorsqu'il s'agit de lignes télégraphiques; la capacité est répartie ici le long de la ligne, au lieu de se trouver en un point déterminé; l'intensité du courant est variable d'un point à un autre. La self-induction et l'isolement de la ligne intervenant, au lieu d'obtenir des courbes

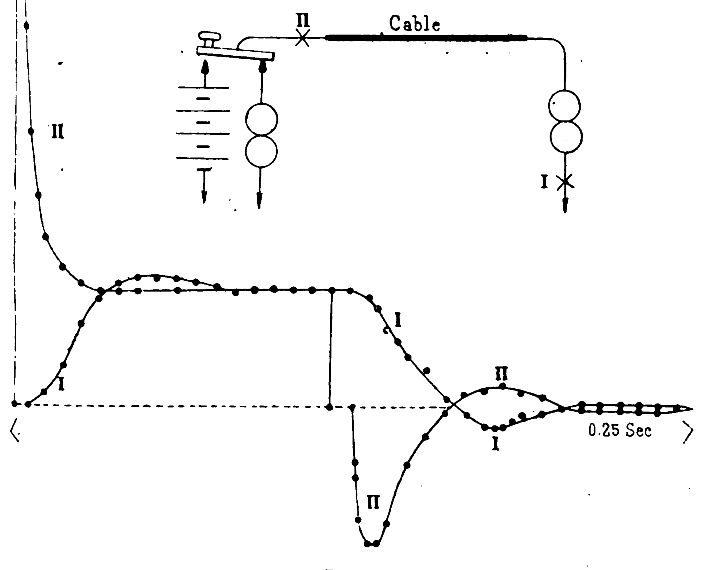


Fig. 9 et 10.

simples et facilement calculables, on obtient alors des courbes compliquées.

Il est évident que les mesures effectuées sur ces conducteurs ne peuvent pas présenter le même degré d'exactitude que celles effectuées sur des lignes artificielles. L'induction, provenant des lignes voisines, peut en particulier avoir une influence perturbatrice considérable.

Les circuits, sur lesquels on a expérimenté, étaient, bien entendu, choisis de façon que les deux extrémités de la ligne arrivassent dans la même localité.

La courbe (*fig.* 10), se rapporte au câble qui relie Berlin à Perleberg, d'une longueur de 276 kilomètres; pour éviter autant que possible les effets d'induction, on a ajouté aux deux bouts un câble artificiel et porté ainsi la longueur totale à environ 500 kilomètres; l'influence perturbatrice de l'induction se trouve ainsi considérablement diminuée.

La capacité totale du conducteur est de 112 microfarads, la résistance de 3.800 ohms.

Le courant au commencement de la ligne, désigné par II, montre une intensité initiale considérable, réduite de moitié sur la figure. Le premier point observé est également le plus élevé, ce qui montre que le courant atteint sa valeur maxima en moins de 0,0001 seconde. Cette valeur est quinze fois plus considérable que la valeur du courant stationnaire indiquée sur la figure par une ligne pointillée. Ceci provient de ce qu'après la clef il se trouve une capacité considérable et que la valeur initiale du courant ne dépend que de la résistance de la pile. On voit donc combien il est important de prendre, pour actionner des câbles, des piles de faible résistance.

L'onde de charge diminue d'abord rapidement, puis lentement; au bout de 1/8 de seconde la valeur stationnaire n'est pas encore obtenue. La courbe indique ensuite l'interruption, puis la décharge à travers le contact de repos. Ici il n'y a pas de pointe, parce que la self-induction de l'appareil Morse s'oppose à l'augmentation subite du courant.

Le courant à l'extrémité de la ligne s'évanouit suivant une sinusoïde (courbe I) et n'atteint ni la valeur zéro ni la valeur stationnaire. Il est à remarquer que cette onde n'atteint sa valeur maxima que longtemps après la fermeture du contact.

La courbe (*fig.* 12), a été prise sur une ligne télé-

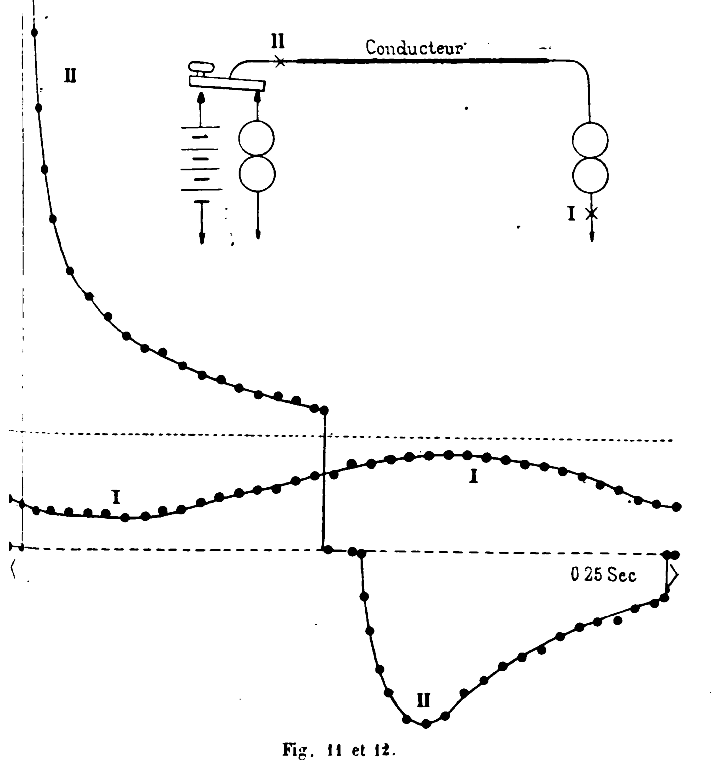


Fig. 11 et 12.

graphique aérienne de Berlin à Hanovre, aller et retour, d'une longueur d'environ 600 kilomètres. Le conducteur est formé de fil de fer, mais dans les villes il existe des câbles, ce qui porte la capacité à 11 microfarads; la résistance est de 7.500 ohms.

Comme, au commencement de la ligne, il se trouve quelques kilomètres de câble, le sommet de la courbe se trouve ici, comme dans les cas précédents, très élevé; sur la figure on n'a tracé qu'une partie de cette période initiale. La charge est terminée dans un temps beaucoup plus court et la courbe II atteint la valeur stationnaire.

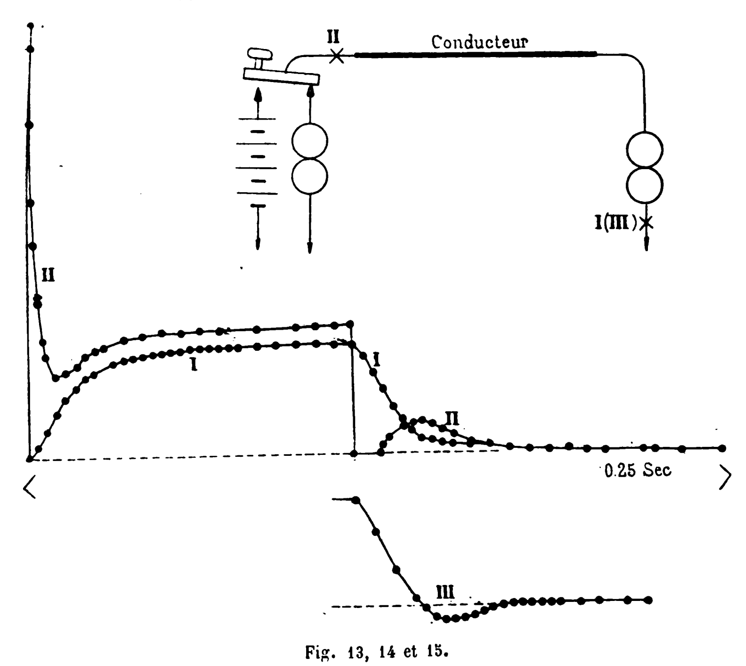


Fig. 13, 14 et 15.

Nous avons affaire ici à un conducteur de grande résistance, à l'extrémité duquel se trouvent, près de

l'appareil Morse, quelques kilomètres de câble, ce qui, comme nous l'avons dit plus haut, constitue les conditions nécessaires pour obtenir une charge oscillante à l'extrémité du conducteur; la courbe I montre en effet des oscillations. La décharge oscillante que l'on constate des deux côtés est symétrique; elle est fortement amortie; la durée d'oscillation est de 0,083 seconde.

Il n'a pas été possible d'examiner une ligne aérienne en fer d'une certaine longueur, parce que dans toutes les grandes villes on trouve des bouts de câbles, mais on a pu réaliser ces conducteurs aériens à l'aide des conducteurs en bronze qui servent aux communications téléphoniques. On a expérimenté ainsi sur une ligne de Berlin à Hambourg, ayant aller et retour, une longueur de 600 kilomètres, mais dont la résistance n'était que de 1.700 ohms et la capacité d'environ deux microfarads; M. Franck n'a pu obtenir la valeur exacte de cette capacité, à cause des influences extérieures (*).

Malgré cette faible capacité répartie sur toute la ligne, on voit cependant (*fig.* 14) que la pointe correspondant à la charge est encore assez élevée. Lorsque la charge est terminée, ce qui arrive ici, après un temps très court, il ne peut pas pénétrer dans le conducteur plus d'électricité qu'il n'en sort, et comme, par suite de la self-induction de l'appareil récepteur, la valeur stationnaire n'est pas encore atteinte, il faut qu'au commencement du conducteur elle tombe aussi au-dessous de sa valeur stationnaire, après quoi les deux courbes montent ensemble. La différence cons-

(*) Voir *Annales télégraphiques*, t. XVII, 1890, p. 499.

tante entre ces deux courbes provient du défaut d'isolement de la ligne.

Lors de l'interruption du courant, le conducteur se décharge assez rapidement (voir courbe I). En fermant le contact de repos on ne constate pas (courbe II) une onde de décharge comme dans les cas précédents, mais bien au contraire une augmentation de charge due à la self-induction.

Ce phénomène observé par M. Franck paraît en effet assez net pour démontrer que les lignes aériennes en cuivre possèdent une self-induction notable (**), contrairement à l'opinion émise par certains auteurs, notamment par M. Preece (*Journal of the telegraph engineers and electricians*, 188 , p. 000).

Le courant à l'extrémité du conducteur disparaît, comme le montre la courbe III, lorsqu'on laisse le contact de repos isolé, on obtient ainsi, même pour des conducteurs aériens, une décharge oscillante.

Ces courbes montrent que lorsqu'il s'agit de câbles la self-induction est négligeable devant la capacité; que pour un conducteur mixte composé principalement de conducteurs aériens, la self-induction cause des oscillations, mais que son influence est la plus considérable pour les conducteurs purement aériens.

On peut maintenant se demander ce qui arrive lorsqu'au lieu d'un courant unique il s'agit de plusieurs courants se suivant rapidement comme dans les signaux télégraphiques; le conducteur reste alors plus ou moins chargé.

Pour examiner ce qui arrive dans ce cas, on a lancé dans les conducteurs, à l'aide du dispositif (*fig.* 2) dont

(**) Voir *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 338.

nous avons parlé précédemment, une succession rapide de la lettre *f*(..—.).

On a analysé l'intensité du courant à l'arrivée seulement.

Avec la vitesse la plus considérable que l'on peut obtenir à la main (60 à 80 fois la lettre *f* à la minute), les signaux arrivent individuellement à l'extrémité de la ligne. Ce n'est que lorsque cette vitesse atteint 600 fois la lettre *f* à la minute que l'on obtient des courbes comme dans la *fig.* 16. Dans ces conditions

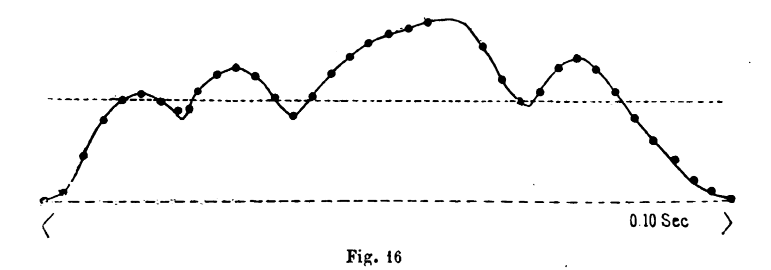


Fig. 16

on n'obtient ni la valeur stationnaire du courant, ni une décharge complète, mais seulement des maxima et des minima.

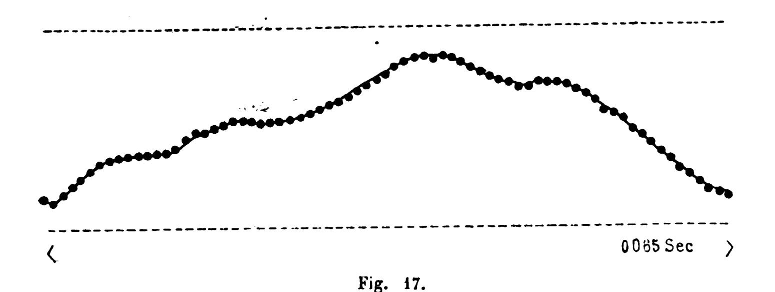


Fig. 17.

Ceci n'empêche pas qu'avec un appareil approprié on puisse interpréter ces signaux; on constate ce fait

bien connu des télégraphistes, que le premier point d'un signal de ce genre semble raccourci.

On a recherché dans ces conditions, et pour les lignes considérées plus haut (courbes 10, 12 et 14) la limite de vitesse de transmission.

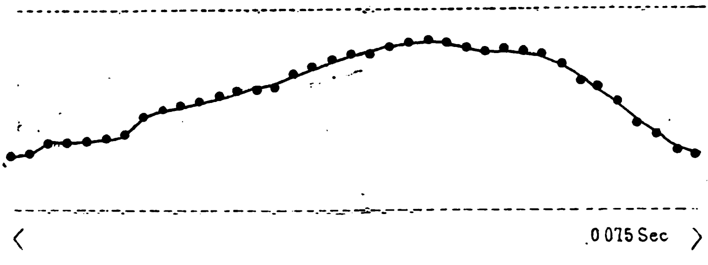


Fig. 18.

Lorsque la vitesse sur les conducteurs en bronze atteint 924 fois la lettre *f* par minute on obtient la courbe, *fig.* 17, où il n'est guère plus possible de distinguer les points, il serait impossible dans ces condi-

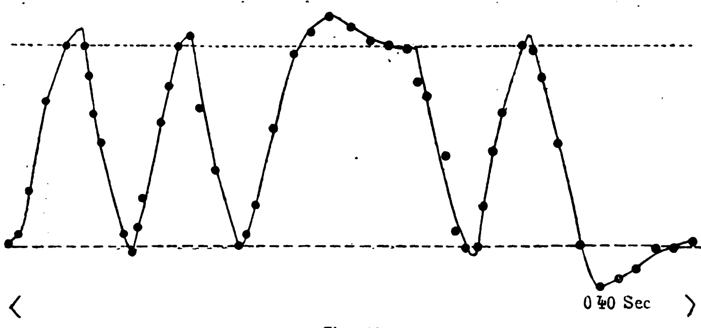


Fig. 19.

tions de communiquer télégraphiquement. Avec les conducteurs en fer et des bouts de câbles (ligne mixte, *fig.* 18), on obtient une courbe analogue avec une vitesse de 800 *f* par minute. On voit ici l'influence per-

turbatrice de la résistance et de la capacité qui sont plus considérables.

La courbe suivante (*fig.* 19), relative au conducteur mixte, montre qu'avec une vitesse de 150 *f* par minute la transmission est encore parfaite; le courant s'élève parfois au-dessus de sa valeur stationnaire.

La *fig.* 20 se rapporte à la ligne en câble et cor-

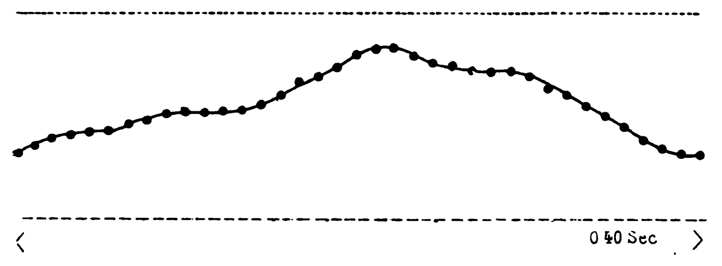


Fig. 20.

respond à une vitesse de 150 *f* par minute; à cette vitesse les conducteurs aériens donnent encore une transmission parfaite (*fig.* 19), alors que la réception n'est plus possible sur la ligne en câble. On voit donc d'une façon manifeste l'avantage des lignes aériennes sur les lignes souterraines.

Pour remédier aux inconvénients de la capacité, on a proposé, comme l'a rappelé M. Preece en 1877 (*) et comme M. Godfroy l'a mis en pratique (**), de placer sur le fil au départ ainsi qu'à l'arrivée une dérivation à la terre, douée d'une forte self-induction.

La *fig.* 21 montre les résultats obtenus dans ces conditions; les signaux se montrent plus nettement.

(*) *Journal of the Society of telegraph engineers*, t. VI, 1877, p. 66. — V. aussi *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 266.

(**) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 257.

On sait que pour des conducteurs de constitution uniforme dans lesquels interviennent la résistance et la capacité, la courbe des courants devient la même lorsque la rapidité des signaux est inversement proportionnelle au produit de la résistance par la capacité.

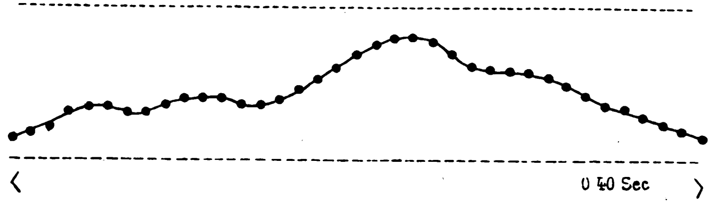


Fig. 21.

On a généralisé cette loi et on l'a étendue à des conducteurs mixtes. Les *fig.* 17, 18 et 20, qui sont prises sur des circuits différents, et ont à peu près la même apparence, montrent jusqu'à quel point cette généralisation est admissible.

Le tableau suivant donne, dans la colonne 3, pour les différents conducteurs, le produit de la capacité C en farads par la résistance R en ohms, la colonne 4 donne le nombre v des signaux par minute, et la colonne 5 le produit de ces deux quantités.

	R	C	RC	v	RCv	$\frac{L}{R}$
Câbles.	4.800	$112,10^{-6}$	0,54	150	81	0,0025
Conducteur mixte . . .	8.500	$11,10^{-6}$	0,093	800	75	0,0014
— en bronze.	2.600	$2,10^{-6}$	0,0052	934	4,8	0,0046

On voit que ce dernier produit est sensiblement le même pour les câbles et le conducteur mixte ; pour le conducteur en bronze il faudrait augmenter la vitesse dans le rapport de 1 à 16 pour obtenir la valeur du

produit ; si c'était seulement ce produit qui intervînt, la courbe de courant serait donc obtenue avec une vitesse de transmission de 1.000 f et non de 950 f par minute.

Avec le conducteur en bronze la self-induction prend plus d'importance. La dernière colonne indique la valeur du quotient de la self-induction par la résistance. Ce quotient représenterait le retard apporté à la propagation du courant si les lignes n'avaient pas de capacité.

M. Franck, en raison des difficultés que l'on éprouve à mesurer la self-induction de longs circuits, n'a pas fait entrer en ligne de compte que la self-induction de l'appareil, soit 12 quadrants. Il estime que, dans les deux premières lignes du tableau, le quotient $\frac{L}{R}$ est négligeable vis-à-vis du produit CR, mais que pour les fils de bronze les deux quantités sont du même ordre de grandeur. Et il déduit de ces mesures que, pour des conducteurs mixtes, la rapidité de transmission peut bien s'évaluer par l'examen du produit CR, mais à la condition, toutefois, que le quotient de la self-induction par la résistance soit négligeable devant ce produit.

Il est regrettable que M. Franck n'ait pas fourni des renseignements exacts sur la constitution, la nature et la disposition des circuits expérimentés. Il eût été intéressant d'appliquer à ces données les chiffres fournis par les mesures de self-induction et de capacité effectuées en France sur les lignes, et dont les *Annales* ont déjà rendu compte. On eût ainsi reconstitué sur des bases plus exactes le tableau donné par M. Franck, et on eut pu en tirer des conclusions plus nettes.

EXPÉRIENCES

DE

TRANSPORT ET DISTRIBUTION D'ÉNERGIE

ENTRE LAUFFEN ET FRANCFORT (*)

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE A GRANDE DISTANCE PAR COURANTS ALTERNATIFS POLYPHASÉS

Le monde électrique suit avec le plus grand intérêt les expériences de transport et de distribution de l'énergie électrique qui se poursuivent actuellement entre Lauffen et Francfort, sur une distance de 175 kilomètres, expériences dont les premiers résultats sont des plus remarquables et font bien augurer de l'avenir.

Les procédés mis en œuvre sont absolument différents de ceux qui avaient été employés jusqu'ici dans le même but, et il eût été difficile d'en prévoir l'application il y a trois ans à peine, car les courants alternatifs polyphasés faisaient alors leur apparition pour la première fois. Avant de décrire les moyens qui ont permis de réaliser ces mémorables expériences, il nous semble utile d'indiquer rapidement comment on y a été conduit.

Malgré le retentissement des expériences de trans-

(*) *La Nature*, 3 et 24 octobre et 28 novembre 1891.

port de force motrice réalisées par M. Marcel Deprez entre Miesbach et Munich, Vizille et Grenoble, Creil et Paris, malgré les sommes considérables englouties dans ces expériences, le succès industriel a été médiocre, les installations actuellement en fonction sont encore peu importantes et peu nombreuses.

Les principales causes de cet insuccès industriel sont au nombre de deux. En premier lieu, le système préconisé par M. Marcel Deprez, extension des expériences faites dès 1873 par M. H. Fontaine à l'Exposition de Vienne, permettait bien le *transport* de l'énergie électrique, mais il n'était que très imparfaitement approprié à la *distribution*, ce qui en limitait considérablement les applications possibles. En second lieu, la construction des machines à courant continu et à grande force électromotrice présentait des difficultés considérables, si considérables que pour produire 3000 volts, chiffre qui n'a jamais été dépassé dans une expérience de quelque durée, ou dans une installation industrielle, M. Marcel Deprez employait deux anneaux montés en tension, et fournissant 1.500 volts chacun. Depuis, M. Hillairet est parvenu à obtenir 3.000 volts avec un seul anneau, mais c'est le chiffre maximum que nous puissions citer avec les courants continus.

Les courants alternatifs et les transformateurs ont complètement transformé la question en permettant la production facile de tensions élevées, et la transformation plus facile encore de ces courants à l'aide d'appareils inertes, ne comportant aucune pièce mobile, permettant ainsi le *transport* et la *distribution* de l'énergie électrique avec des potentiels initiaux variant, en pratique industrielle, entre 1.000 volts (Westinghouse en Amérique) et 10.000 volts (Ferranti à Londres), faci-

lement transformés à l'arrivée à 100 volts, 65 volts ou 50 volts.

Mais la distribution de l'énergie électrique par courants alternatifs simples soulevait d'autres objections. Ces courants ne se prêtaient pas du tout à l'emmaga-

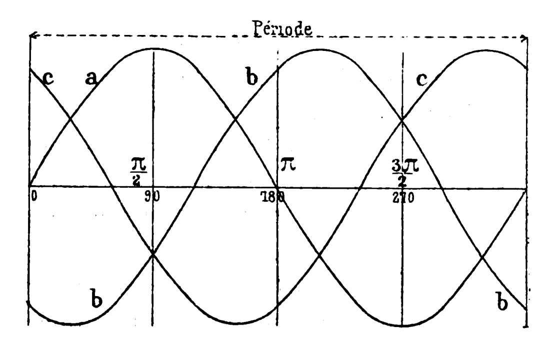


Fig. 1. — Diagramme montrant l'intensité du courant à chaque instant dans chacun des trois circuits *a*, *b*, *c*. (La somme algébrique de ces trois courants est toujours égale à *zéro*).

sinement de l'énergie électrique et à la production de la force motrice. De nombreuses recherches ont été faites dans le but de réaliser un moteur à courants alternatifs présentant les mêmes qualités que les moteurs à courant continu, dans le but de réduire à néant l'objection que nous venons de signaler. L'étude de

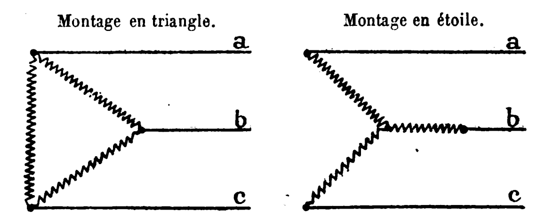


Fig. 2. — Modes de couplage des trois circuits entre eux et avec les trois lignes *a*, *b*, *c*.

ces appareils nous entraînerait trop loin. Qu'il nous

suffise de dire que, jusqu'à ces derniers temps, aucun de ces moteurs ne remplissait toutes les conditions exigées par l'application industrielle. Les récentes recherches de M. Tesla en Amérique, de MM. Hutin et Leblanc en France, laissent entrevoir la possibilité d'un moteur à courants alternatifs *simples* présentant toutes les qualités requises par la généralité des applications, c'est-à-dire pouvant démarrer sous charge, et tourner à une vitesse angulaire quelconque, indépendante de celle de la machine génératrice, dans des conditions de rendement satisfaisantes.

Mais pendant que ses recherches se poursuivaient, une solution nouvelle et originale est venue ouvrir une voie différente aux recherches et aux travaux : Les courants alternatifs à phases multiples ou *courants alternatifs polyphasés* offrent actuellement la solution la plus générale et la plus complète du transport de l'énergie électrique à grande distance en faisant emploi de courants de faible intensité et de force électromotrice élevée, de la transformation de ces courants, de leur subdivision indéfinie, et de leur distribution, en vue de toutes les applications industrielles : éclairage, force motrice, charge des accumulateurs, opérations électrochimiques, etc.

On peut considérer les courants alternatifs polyphasés comme le dernier avatar *actuel* de l'énergie électrique aspirant au rôle de panacée pour toutes les applications industrielles dont elle est aujourd'hui capable.

Nous étudierons donc successivement les générateurs, les transformateurs et les moteurs à courants polyphasés, en prenant comme exemple les expériences de Lauffen-Francfort. Il nous sera plus facile, après

avoir décrit le système, d'exposer les raisons qui en justifient l'emploi.

Définition des courants polyphasés. — On sait qu'un courant alternatif ordinaire ou simple peut être représenté en fonction de temps par une courbe sinusoïdale, et caractérisé par son intensité efficace et sa fréquence. Considérons deux courants semblables passant identiquement aux mêmes instants par leurs valeurs nulles et leurs valeurs maxima, on dit que ces deux courants ont même période et même phase. Si ces deux courants, tout en conservant la même période, passent par des valeurs nulles et des valeurs maxima à des instants différents, on dit que ces courants sont *déphasés* ou *décalés*. A un instant donné, chacun des courants a une phase différente de celle de l'autre courant, et l'on a deux phases différentes à considérer, ce qui justifie le nom de *courants diphasés* donné à l'ensemble de ces deux courants. Généralement, dans le cas de deux courants, le décalage est, par construction, sensiblement égal à un quart de période ; si le décalage était égal à une demi-période, les courants alternatifs seraient *en opposition*. Les courants alternatifs décalés de un quart de période combinés entre eux dans des appareils appropriés jouissent de propriétés spéciales qui justifient leur emploi, propriétés que nous examinerons à propos des moteurs à courants polyphasés. Dans le cas de trois courants décalés l'un par rapport à l'autre de un tiers de période, on a des *courants triphasés ;* en combinant les actions de ces courants dans des appareils appropriés on peut construire des moteurs à courants alternatifs triphasés.

Mais les courants à trois phases ainsi décalées de un

tiers de période, présentent sur les courants à deux phases l'avantage de la symétrie des conducteurs et de leur égalité de section. Dans le courant à deux phases, il faut employer quatre fils, ou trois fils seulement, dont un plus gros servant de retour commun aux deux autres. Avec les courants triphasés, on voit facilement sur la figure 1 que la somme des trois courants traversant chacun des fils est toujours nulle, chaque fil sert de retour à la somme des courants traversant les deux autres ; par suite les trois fils sont d'égale section.

D'après ce que nous venons de dire, un générateur à courants alternatifs polyphasés n'est donc pas essentiellement différent d'un générateur à courants alternatifs ordinaires. Il se compose, en principe, d'un système inducteur commun et de trois circuits induits décalés l'un par rapport à l'autre de un tiers de période, de façon à engendrer trois forces électromotrices passant successivement par leurs maxima à des intervalles de temps séparés de un tiers de période. Ces trois enroulements que nous représenterons par trois zigzags distincts (*fig.* 2) peuvent être couplés de deux façons : en circuit fermé ou en *triangle*, en circuit ouvert ou en *étoile*. Ces deux couplages modifient les forces électromotrices et la résistance intérieure du générateur, mais ne changent rien d'essentiel au système. Dans ce qui va suivre, nous supposerons toujours les trois bobines couplées en *étoile*, comme dans les expériences de Lauffen-Francfort.

Générateur à trois phases. — La dynamo à trois courants établie à Lauffen a été étudiée et construite par M. Brown, ingénieur des ateliers d'Oerlikon, près de Zurich. Elle est constituée par un système d'inducteurs

mobiles et un induit fixe. Le système inducteur porte trente-deux pôles alternativement de noms contraires montés sur un axe commun et excités par une bobine unique recevant le courant d'une petite excitatrice séparée à l'aide de deux cordelettes en tresse de laiton que l'on peut voir sur la gauche de la *fig.* 3 au-dessus

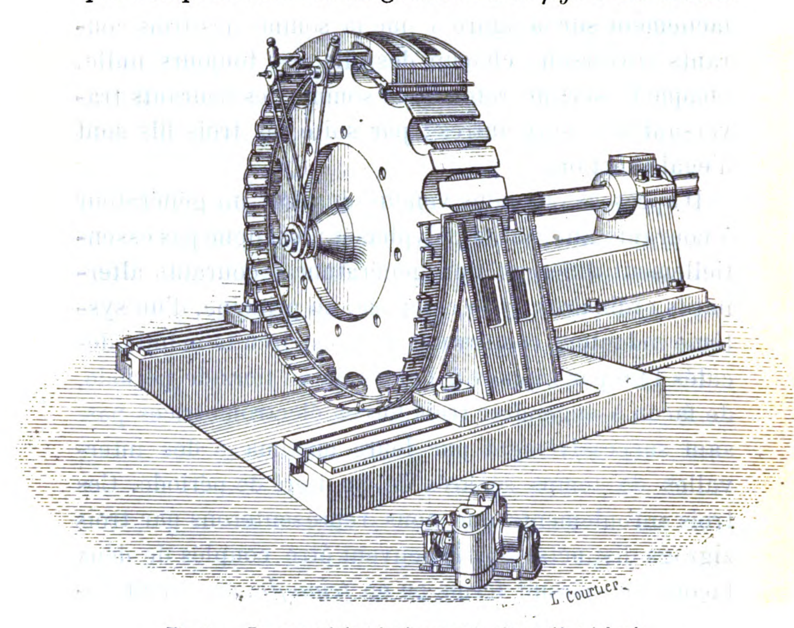


Fig. 3. — Dynamo génératrice à courants alternatifs triphasés.

de l'arbre. Cet inducteur tourne à l'intérieur d'un anneau cylindrique en tôle de fer doux, solidement maintenu sur le bâti en fonte. A la partie intérieure de cet anneau de fer doux sont ménagés quatre-vingt-seize trous parallèles à l'axe dans lesquels sont logés les conducteurs induits dont le diamètre atteint 29 millimètres. Ces barres conductrices sont isolées dans leurs trous respectifs à l'aide d'une enveloppe d'amiante.

Ces quatre-vingt-seize barres sont couplées entre elles par leurs extrémités et forment un enroulement en zigzag, chacun des enroulements comportant trente-deux barres en tension. L'une des extrémités de chaque enroulement communique avec un fil distinct relié au transformateur, les trois autres extrémités sont reliées à un quatrième fil et au transformateur, formant ainsi une sorte de retour commun ou fil neutre. La machine est étudiée pour fournir normalement 50 volts et 1.400 ampères dans chaque circuit, ce qui correspond à une puissance utile d'environ 200 kilowatts. Les dispositions du circuit magnétique sont telles que les inducteurs ne portent que 300 kilogrammes de cuivre, chiffre absolument insignifiant eu égard à la puissance de la machine. L'excitation, lorsque l'induit est à circuit ouvert, ne dépasse pas 100 watts, chiffre à peu près doublé à pleine charge, à cause de la réaction d'induit. D'après M. Brown, le rendement industriel à pleine charge atteindrait 96 p. 100. Le poids total de la machine ne dépasse pas 9.000 kilogrammes et sa vitesse angulaire 150 tours par minute, ce qui correspond à une fréquence de 40 périodes par seconde.

Transformateurs. — Les courants triphasés résultant des forces électromotrices décalées développés dans le générateur, sont envoyés dans un transformateur isolé au pétrole, dans le but de résister aux tensions élevées produites dans la transformation, tensions qui atteignent actuellement 13.000 volts, et seront ultérieusement portées à 15.000, 20.000, 25.000 volts, et même davantage, en faisant usage de deux transformateurs dont les circuits inducteurs seront montés en dérivation et les circuits induits en tension, en vue d'éprouver la résistance des appareils et de la ligne aux tensions

élevées, et les limites pratiques imposées par les isolants dont dispose aujourd'hui l'industrie.

Les transformateurs, identiques au départ et à l'arrivée, ont été construits, les uns par M. Brown dans les ateliers d'Oerlikon, les autres à Berlin, dans les ateliers de l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*, sous la direction de M. Dolivo-Dobrowolsky. Le transformateur proprement dit, en dehors du récipient d'huile dans lequel il est entièrement plongé, se compose (*fig.* 4) de trois noyaux cylindriques formés de lames minces de fer doux, et de deux disques en fer doux qui réunissent magnétiquement leurs extrémités, le disque inférieur formant en quelque sorte le socle et le disque supérieur le couvercle des trois noyaux. Sur chacun de ces trois noyaux sont disposés deux enroulements : l'un à gros fil, communique avec la machine, l'autre à fil fin, avec la ligne et la canalisation à haute tension. Les enroulements

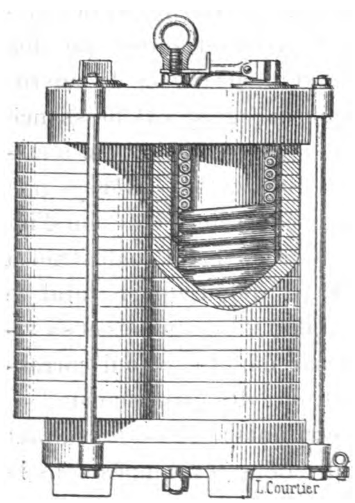


Fig. 4. — Transformateur à courants alternatifs triphasés.

correspondent à un rapport de transformation de 160, c'est-à-dire qu'en fournissant 50 volts aux bornes de l'une des trois bobines du primaire, on obtient environ 8.000 volts aux bornes du circuit secondaire correspondant, ce qui, avec le montage en étoile, représente près de 14.000 volts comme différence de potentiel efficace entre deux quelconques des trois fils

de ligne. Les fils primaires et les fils secondaires du transformateur sont connectés entre eux comme les trois fils de la génératrice, c'est-à-dire qu'ils ont un point commun, les trois autres extrémités communiquant respectivement, pour le gros fil à la dynamo génératrice, pour le fil fin aux trois fils de ligne ou de transport. Les trois milieux des étoiles communiquent métalliquement entre eux et avec la terre. Ce point est des plus importants, car grâce à cette disposition, que nous retrouverons d'ailleurs à l'arrivée, le danger de manipulation des appareils se trouve réduit à un minimum; il est confiné exclusivement aux points de communication des fils fins des transformateurs avec les fils de ligne, et à la ligne elle-même. Aussi toutes les précautions ont-elles été prises pour mettre ces points dangereux hors d'atteinte. Les fils à haute tension sortent des transformateurs à une hauteur inaccessible, par des gros tubes en verre et rejoignent directement les poteaux sans passer par aucun tableau ni appareil de mesure.

Cette mise de toute la ligne à la terre par l'intermédiaire des points neutres, milieux des étoiles, a de plus l'avantage de faciliter les décharges électrostatiques et de constituer une sorte de paratonnerre naturel. On pourrait objecter que cette communication n'est pas directe, mais se fait seulement en passant par des bobines dont le coefficient de self-induction est élevé. Il sera intéressant de savoir comment se comportera la ligne pendant les orages, et les expériences de Lauffen-Francfort apporteront encore un grand enseignement à ce point de vue spécial.

Entre les fils de ligne proprement dits et les fils sortant du transformateur sont intercalés les coupe-



circuits C (*fig.* 5). Ces coupe-circuits sont constitués par trois fils de cuivre d'environ 0,1 millimètre de diamètre et de plus de 2 mètres de longueur suspendus à l'air libre, en dehors de l'usine génératrice et à une

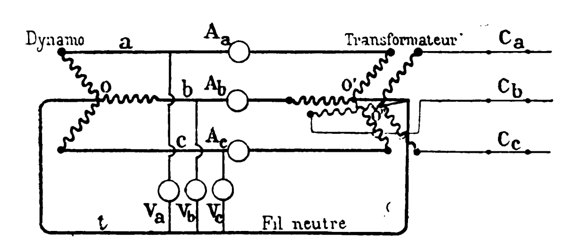


Fig. 5. — Diagramme du montage des appareils à Lauffen (excitatrice supprimée). — *a*, *b*, *c*. Fils de communication. — A. Ampèremètres. — V. Voltmètres. — C. Coupe-circuits. — *t*. Fil neutre ou fil de terre relié métalliquement aux sommets *o*, *o'*, *o''*.

grande hauteur. Ils servent à isoler la machine génératrice de la ligne en cas d'accident sur cette ligne. Il va sans dire que les coupe-circuits ayant sauté ne sont remplacés qu'après l'arrêt complet des machines génératrices de Lauffen.

La *fig.* 5 montre le montage des différents appareils principaux établis à Lauffen. Pour simplifier le diagramme, nous avons supprimé quelques appareils accessoires qui servent au réglage de la marche des appareils, Ce réglage consiste à maintenir constante la vitesse angulaire de la turbine commandant la dynamo, pour ne pas changer la fréquence adoptée, ainsi que la différence de potentiel utile fournie par la dynamo, ce qui s'obtient en intercalant une résistance variable dans le circuit d'excitation.

Telles sont les dispositions essentielles de l'usine génératrice établie à Lauffen. Nous allons voir comment les courants de faible intensité et de grande force

électromotrice ainsi produits, après avoir franchi une distance de 175 kilomètres par des fils de cuivre de 4 millimètres de diamètre, sont utilisés à Francfort pour l'éclairage et la force motrice.

LA LIGNE. — LES TRANSFORMATEURS D'ARRIVÉE. L'ÉCLAIRAGE. — LES MOTEURS.

Ligne. — L'énergie électrique produite à Lauffen sous forme de courants alternatifs à trois phases est transmise à Francfort sur une ligne aérienne à trois fils de cuivre de 4 millimètres de diamètre, fixés sur des poteaux à l'aide d'isolateurs à pétrole.

Cette expérience est d'autant plus intéressante qu'elle est faite sur une grande échelle, car il y a plus de 3.000 poteaux et près de 10.000 isolateurs d'installés entre Lauffen et Francfort. Comme il y aurait le plus grand danger à toucher les fils et même les poteaux dans le cas d'une rupture d'un isolateur ou de contact accidentel, même imparfait, entre un poteau et l'un quelconque des fils, on a prévenu du danger les populations des différents États que la ligne traverse en peignant en noir, sur un grand nombre de ces poteaux, surtout au voisinage des routes et sentiers, des ossements en croix surmontés d'une tête de mort. Signalons, sans insister ni apprécier, le caractère un peu macabre de ce mode d'avertissement, tout en reconnaissant que la précaution n'est pas inutile.

Comme mesure de précaution supplémentaire, on a disposé, près des passages à niveau de la ligne de chemin de fer que la ligne électrique longe presque continuellement, des sortes de A renversés en fer suspendus au-dessus des fils et maintenus, à une cer-

taine distance, par une corde passant sur une poulie. Il suffit de détacher la corde pour faire tomber le A sur les fils. On met ainsi la ligne en court-circuit, les coupes-circuits fusibles sont aussitôt volatilisés par suite de l'excès de courant qui les traverse, et la ligne immédiatement et automatiquement isolée de la génératrice. Tant que le A est sur la ligne, on peut impunément toucher à cette ligne et l'utiliser comme simple ligne téléphonique, le retour se faisant par la terre. C'est, du reste, par ce procédé rudimentaire que Francfort communique avec Lauffen. Pendant les arrêts, la ligne à trois fils est toujours sur téléphone. Pendant la marche, Lauffen peut appeler Francfort en arrêtant, et Francfort appelle Lauffen en mettant la ligne en court-circuit, et en faisant ainsi sauter les coupe-circuits.

Les expériences de Lauffen-Francfort ont surtout pour but, nous l'avons déjà dit, de fixer les limites des tensions que peuvent supporter des lignes aériennes montées sur isolateurs au pétrole. Si le rendement est indépendant de la distance tant que l'on a la faculté d'augmenter le potentiel proportionnellement à la distance, il n'en est plus de même lorsque l'on est à la limite de potentiel que la ligne peut pratiquement supporter. Le rendement est alors parfaitement dépendant de la distance, et il diminue à mesure que cette distance augmente. Dans le cas particulier, la résistance de chacun des trois fils étant d'environ 300 ohms, pour transmettre une puissance électrique totale de 150.000 watts au potentiel efficace de 12.000 volts, on devrait faire passer 4 ampères et perdre en échauffement sur la ligne 5.000 watts par fil, soit 15.000 watts pour les trois fils, ou 10 p. 100 de la puissance totale,

sans parler des pertes par les isolateurs, pertes sur lesquelles les estimations varient de 1 à 10, et dont nous ne parlerons qu'après la publication des résultats des expériences officielles.

Comme la perte de charge en ligne varie avec le débit, la différence de potentiel est maintenue constante, non pas au départ, mais bien à l'arrivée, à Francfort. A cet effet, les voltmètres disposés à Lauffen sont munis d'un double enroulement qui fait *retarder* le voltmètre, tient compte de la perte de pression sur la ligne et leur font donner les mêmes indications que s'ils étaient montés en dérivation sur la sortie des transformateurs de Francfort.

Transformateurs d'arrivée. — Les courants polyphasés de haute tension arrivant à Francfort avec la pression du départ diminuée de la perte de charge en ligne, et avec une intensité également moindre qu'au départ, par suite des dérivations sur la ligne, communiquent directement avec un ou plusieurs transformateurs identiques à ceux de Lauffen, mais qui jouent un rôle inverse : ils augmentent l'intensité des courants aux dépens de la pression.

Il y a à Francfort, comme à Lauffen, trois transformateurs que l'on peut coupler sur la ligne et sur les appareils d'utilisation en faisant des combinaisons multiples qui permettent de varier les tensions et les intensités entre des limites très écartées. Chacun de ces transformateurs est d'ailleurs établi pour pouvoir transformer les 200 kilowatts que peut produire la machine génératrice à charge normale maxima. Nous obtenons ainsi sur le circuit secondaire des transformateurs établis à Francfort des courants alternatifs triphasés qu'il nous reste à utiliser pour l'éclairage et

la force motrice. La *fig.* 6 montre comment le transformateur est relié d'une part directement à la ligne à haute tension, d'autre part au tableau de distribution permettant d'envoyer à volonté le courant transformé sur les lampes à incandescence, les moteurs triphasés ou tous autres appareils d'utilisation que doit desservir le réseau de distribution à basse tension.

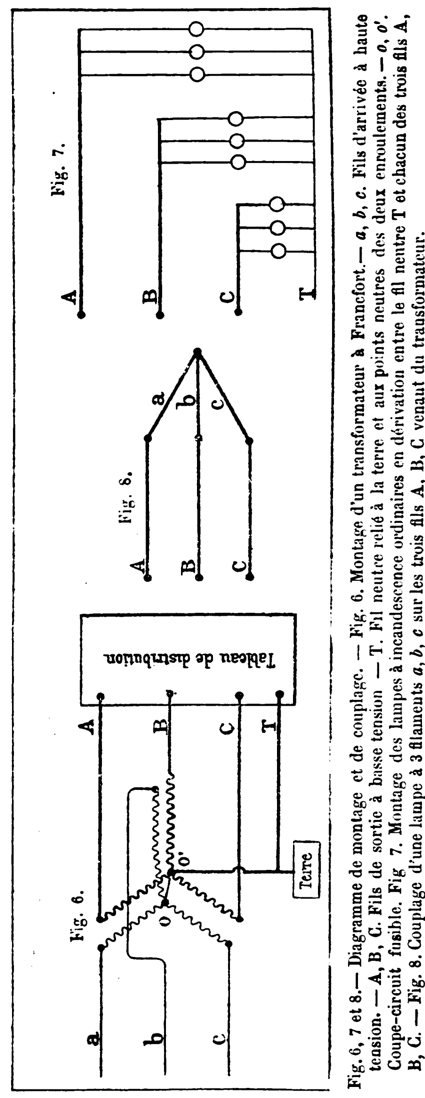
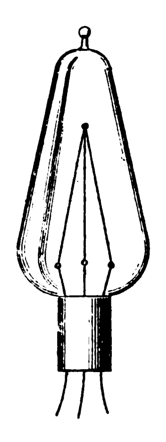


Fig. 6, 7 et 8. — Diagramme de montage et de couplage. — Fig. 6. Montage d'un transformateur à Francfort. — *a, b, c.* Fils d'arrivée à haute tension. — A, B, C. Fils de sortie à basse tension. — T. Fil neutre relié à la terre et aux points neutres des deux enroulements. — *o, o'.* Coupe-circuit fusible. Fig. 7. Montage des lampes à incandescence ordinaires en dérivation entre le fil neutre T et chacun des trois fils A, B, C. — Fig. 8. Couplage d'une lampe à 3 filaments *a, b, c* sur les trois fils A, B, C venant du transformateur.

Éclairage. — Étant donné qu'il existe entre le point neutre et chacun des trois fils secondaires, une différence de potentiel efficace de 50 à 65 volts environ, suivant le réglage effectué à Lauffen, il suffit de monter des groupes de lampes entre ce point neutre et

chacun des trois fils pour que ces lampes fonctionnent comme avec des courants alternatifs ordinaires. On dispose les lampes (*fig.* 7) pour que chacun des trois groupes se trouve également chargé, mais il n'est pas nécessaire de maintenir une rigoureuse égalité dans le débit des trois circuits. Le transformateur compense automatiquement les petites différences de potentiel que pourraient produire des débits inégaux. A titre de curiosité, M. Dolivo-Dobrowolsky a fait fonctionner sur le circuit une lampe à trois filaments (*fig.* 9) réunis par leur sommet, les trois bouts libres communiquant avec les trois fils du transformateur (*fig.* 8). Le fait paraît paradoxal lorsque l'on n'est pas familiarisé avec les propriétés des courants polyphasés, car les trois filaments sont d'égale grosseur. Il faut donc que le courant traversant chacun des filaments soit égal, à chaque instant, à la somme des deux autres; nous avons dit que c'est précisément là une des propriétés des courants alternatifs triphasés.


Fig. 9. — Lampe à incandescence à 3 filaments.

En adoptant une différence de potentiel de 60 à 65 volts entre le fil neutre et chacun des trois autres fils, il serait également possible de monter des lampes à arc en dérivation, et de les alimenter comme des lampes à incandescence.

Dans les expériences auxquelles nous avons assisté, il n'y avait que des lampes à incandescence, au nombre de 1.100 environ; les lampes étaient alimentées par le courant secondaire provenant du transformateur, ainsi que les moteurs électriques.

Il nous reste à décrire les appareils qui justifient et rendent même nécessaires, jusqu'à nouvel ordre, l'emploi des courants alternatifs triphasés pour le transport et la distribution de l'énergie électrique. Mais avant d'aborder cette description, il nous faut ouvrir une parenthèse consacrée à l'indication du principe des champs magnétiques tournants.

Champs tournants. — Si nous faisons passer un courant alternatif dans une bobine, ce courant alternatif produira à l'intérieur de cette bobine et en son centre un champ magnétique dont la direction sera perpendiculaire au plan de la bobine, et dont l'intensité sera, à chaque instant, proportionnelle à celle du courant qui le produit. La direction du champ sera constante, mais son sens changera en même temps que celui du courant qui lui donne naissance. Concevons deux bobines semblables placées perpendiculairement l'une à l'autre et traversées par deux courants alternatifs de même période, mais décalés l'un par rapport à l'autre de un quart de période. Chaque bobine agira comme si elle était seule et produira en son centre un champ perpendiculaire à son plan, mais les deux champs se composeront en un champ unique résultant dont la direction et la grandeur à chaque instant s'obtiendront par une construction analogue à celle qui, en mécanique, donne la résultante de deux forces différant en grandeur et en direction. Dans le cas de deux courants obéissant rigoureusement à la loi du sinus, le champ résultant a une intensité constante, mais sa direction change avec le temps. En supposant les deux bobines verticales et disposées rectangulairement, on démontre que la direction du champ décrit un cercle horizontal d'un mouvement

uniforme. Deux courants alternatifs décalés de un quart de période et traversant des bobines disposées

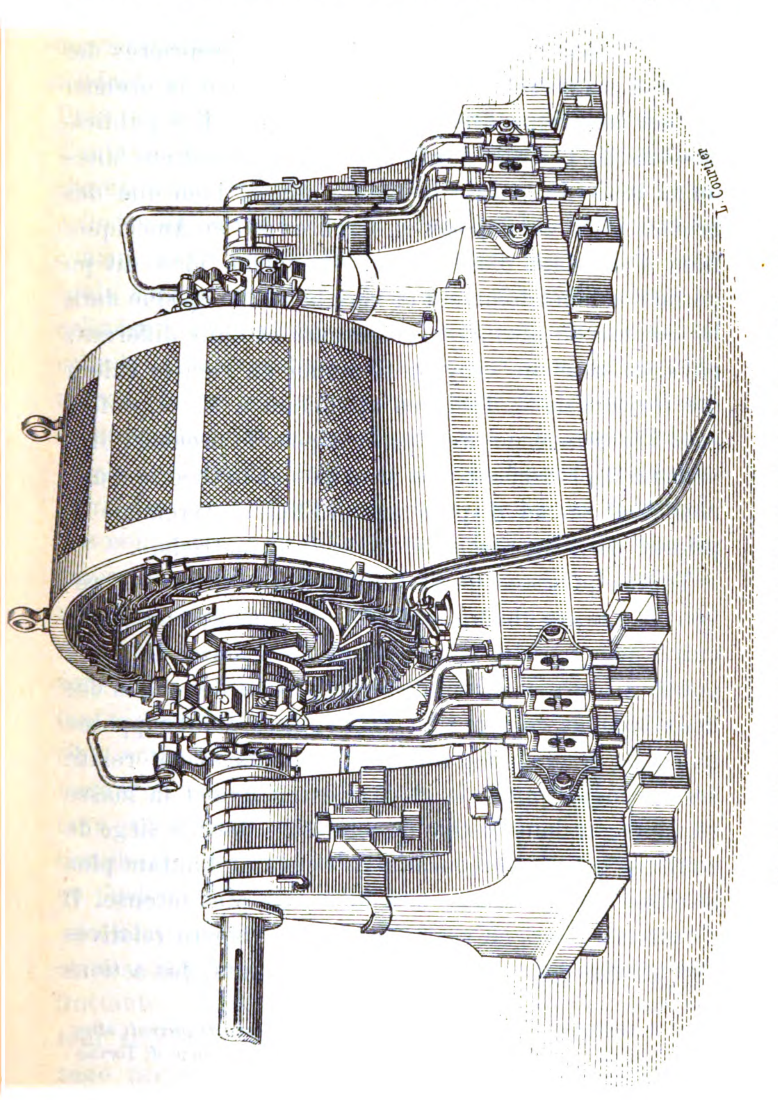


Fig. 10. — Moteur à courants alternatifs triphasés actionnant la cascade à Francfort.

à angle droit produisent donc un champ magnétique tournant.

C'est M. le professeur Ferraris, de Turin, qui a publié le premier, en mars 1888 (*), les propriétés des champs magnétiques tournants et montré le premier moteur électrique fondé sur leur emploi. Les publications de M. T. Tesla sur le même sujet n'ont été faites qu'au mois de mai de la même année, bien que des brevets aient été déposés en octobre 1887 en Amérique. Rien d'étonnant d'ailleurs que la même idée ait pu germer indépendamment et vers la même époque dans le cerveau de plusieurs inventeurs et dans différents pays, et nous ne croyons diminuer en rien la valeur des travaux de M. Tesla en attribuant à M. le professeur Ferraris le mérite d'avoir exposé le premier, bravement et clairement, les principes et la théorie d'une idée dont on se dispute aujourd'hui si âprement la priorité dans les cercles électriques industriels.

Toutes questions de véritable priorité réservées, revenons à notre champ tournant. Plaçons une masse de cuivre au milieu des deux bobines, cette masse de cuivre pouvant tourner autour de l'intersection des plans des deux bobines comme axe. Cette masse étant supposée immobile et le champ tournant, le déplacement relatif sera le même que si le champ restait fixe et la masse se déplaçait dans le champ; elle sera donc le siège de courants induits, ou courants de Foucault d'autant plus intenses que le champ sera lui-même plus intense. Il s'exercera donc, en vertu des lois d'Ampère relatives aux actions des courants sur les courants, des actions

(*) *Rotazioni elettrodinamiche prodotte per mezzo di correnti alternate.* Nota del prof. Galileo Ferraris. *Academia delle scienze di Torino*, 18 mars 1888. — In-8°, Torino, 1888.

mécaniques entre les circuits fixes et la masse de cuivre. Mais la loi de Lenz nous apprend que le déplacement produit par ces actions mécaniques doit donner naissance à une force contre-électromotrice tendant à diminuer l'intensité des courants induits. Dans le cas particulier, les courants induits seront d'autant moins intenses que le déplacement relatif du champ et du cylindre de cuivre sera plus faible; ce cylindre de cuivre tournera *dans le même sens* que le champ, avec une vitesse angulaire qui tend à être égale à celle du champ. Le champ entraînera donc le cylindre. Remplaçons les bobines inductrices et le cylindre de cuivre massif par des enroulements combinés en vue de réduire les résistances magnétiques et de supprimer les courants parasites, et nous réaliserons un véritable *moteur à champ magnétique tournant.* On remarquera que, dans l'appareil théorique que nous venons de décrire sommairement, et que le diagramme (*fig.* 11) reproduit en fac-similé d'après le mémoire original de M. Ferraris, il n'y a, sur l'inducteur ou sur l'induit, aucun contact frottant ni aucune interruption possible entre le générateur et le moteur autre que l'interrupteur, ni aucune communication électrique entre l'inducteur et l'induit. L'induit constitue un circuit fermé sur lui-même et ne comporte aucune pièce frottante; l'entretien du moteur se réduit donc au graissage périodique des deux paliers dans lequel tourne

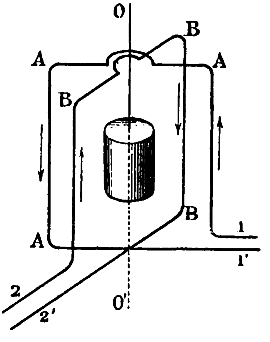


Fig. 11. — Principe des moteurs à champ tournant. A A A. Premier circuit. — B B B. Second circuit. — O O'. Axe de rotation.

son axe : c'est le dernier mot de la simplicité.

Au moment de la mise en circuit, l'induit étant immobile par rapport au champ tournant, est le siège de courants très intenses, ce qui ne présente pas d'inconvénients pour les moteurs de faible puissance, mais serait dangereux avec les moteurs de grande puissance; aussi, pour ces derniers, le démarrage se fait-il en intercalant dans le circuit induit des résistances que l'on diminue graduellement jusqu'au moment où l'armature se trouve en court circuit.

Ce que nous venons de dire pour les courants alternatifs à deux phases est également vrai pour les courants alternatifs à trois phases; seulement les cou rants qui produisent le champ tournant sont décalés de un tiers de période, et il y a trois bobines au lieu de deux, le principe reste le même.

Moteurs. — Les moteurs sont construits par l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*, sous la direction de M. Dolivo-Dobrowolsky, à qui revient le mérite d'avoir réalisé les premiers moteurs triphasés et de leur avoir donné une forme industrielle.

Nous avons vu que les transformateurs de Francfort nous fournissent trois courants alternatifs décalés, sur lesquels nous avons appris à brancher des lampes à incandescence à trois filaments, ou, plus simplement, des lampes à incandescence ordinaires, entre le fil neutre et chacun des trois fils. Les moteurs à courants alternatifs se couplent également sur les trois fils, comme les lampes à incandescence spéciales, sans faire intervenir le point neutre, mais les dispositions de ces moteurs varient avec leur puissance. Pour les moteurs de faible puissance, les inducteurs sont fixes et l'induit mobile, comme dans le moteur de principe

de M. Ferraris (*fig.* 11). Cet induit est constitué par une série de disques de tôle mince, percés à la périphérie de trous parallèles à l'axe dans lesquels passent les tiges de cuivre isolées électriquement du cylindre, mais réunies entre elles à leurs extrémités par deux couronnes de même métal. Autour de cet induit sont disposés les trois enroulements combinés pour produire un champ tournant dans l'espace cylindrique occupé par le cylindre induit. La rotation s'effectue par suite des courants induits dans les tiges de cuivre. Pour changer le sens de la rotation, il suffit de changer le sens du courant dans deux des trois bobines à l'aide d'un inverseur double. Dans des expériences auxquelles nous avons assisté, un moteur de deux chevaux du type de 1.500 watts, actionnant un dynamo à courants alternatif qui en produisait environ 2.000, a eu son sens de rotation changé en moins de deux secondes par la simple manœuvre du commutateur. L'inversion de sens de la rotation du moteur se produit à vide dans le même temps. Cette expérience frappante montre quel couple initial considérable possèdent les moteurs à courants polyphasés au moment du démarrage, et établit nettement la supériorité indiscutable de ces appareils sur les moteurs synchrones. Mais il y a plus : une surcharge du moteur ne produit qu'un ralentissement de vitesse angulaire, ralentissement d'autant plus grand que la surcharge est plus grande, tandis qu'une surcharge un peu forte d'un moteur à courants alternatifs synchrone provoque son arrêt presque immédiat.

Pour les moteurs de grande puissance, tel que celui établi à Francfort et qui doit absorber environ 75 kilowatts, les dispositions sont différentes, bien que le

principe reste le même. Le système inducteur est mobile, tandis que le circuit induit est fixe.

Les trois bobines induites sont tout à fait indépendantes, électriquement parlant, et les deux extrémités de chacune d'elles aboutissent à une bague collectrice sur laquelle appuient deux balais, afin d'assurer le contact et de pouvoir enlever un des balais en cas de besoin, pour le nettoyer ou le réparer. L'emploi de six bagues collectrices est spécial au moteur de Francfort, qui est surtout un moteur d'expériences. Cette disposition a pour but de permettre le couplage des trois circuits, soit en triangle, soit en étoile. En pratique, on adoptera le couplage le plus favorable dans chaque cas particulier; le nombre de bagues se trouvera alors réduit à *trois*. Le circuit induit est fixe dans l'espace et entoure le circuit inducteur. Il se compose également de trois enroulements distincts couplés entre eux en étoile et fermés sur eux-mêmes en intercalant des rhéostats à liquide sur chacun des circuits. Le but de ces rhéostats est de réduire l'intensité des courants induits au moment du démarrage lorsqu'il y a grand déplacement relatif du champ et du circuit induit. Le but des trois enroulements distincts est de coupler ensemble les fils induits qui se trouvent dans la même position relative par rapport aux inducteurs, et d'égaliser ainsi le couple moteur moyen résultant. Il n'y a aucune connexion électrique entre les inducteurs mobiles et l'induit fixe. L'enroulement de ces deux circuits est fondé sur le principe d'enroulement du tambour de Siemens et l'emploi d'inducteurs multipolaires, afin de réduire la vitesse angulaire, eu égard à la fréquence employée, et sur l'emploi de barres de cuivre montées dans des trous ménagés dans le fer

constituant le circuit magnétique, disposition caractéristique des dynamos Brown.

Telles sont les principales dispositions des appareils employés dans les mémorables expériences de transport et de distribution d'énergie par courants alternatifs triphasés entre Lauffen et Francfort, sur une distance de 175 kilomètres, avec des forces électromotrices qui ont dépassé 12.000 volts efficaces, et seront éventuellement portés plus haut. En attendant les résultats officiels des expériences de la Commission des essais, qui nous fixeront exactement sur les puissances réellement transportées, les rendements obtenus, les pertes sur la ligne, la tenue des isolateurs, l'influence des saisons, etc., il n'en reste pas moins acquis dès à présent que l'on a pu recueillir et distribuer électriquement une puissance utile de 75 kilowatts à 175 kilomètres de son point de production.

L'honneur de cette grandiose expérience qui tiendra une place importante dans l'histoire de l'électricité industrielle, revient à l'*Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft*, de Berlin, et aux *Ateliers d'Oerlikon*, ainsi qu'à leurs ingénieurs respectifs, M. Dolivo-Dobrowolsky et M. Brown.

Conclusions. — Si nous sommes parvenu à bien faire comprendre à nos lecteurs les particularités essentielles du système à courants polyphasés, nous n'aurons que quelques mots à ajouter pour en justifier l'emploi. Dans l'état actuel de nos connaissances, les courants alternatifs polyphasés permettent *seuls* de produire *simultanément* la transmission de l'énergie à grande distance, sa transformation, sa distribution et son application générale à l'éclairage, à la force motrice, ainsi que sa transformation facile en courants

continus pour toutes les applications qui exigent exclusivement l'emploi de ces courants.

Sera-t-il toujours nécessaire d'avoir recours à des courants polyphasés pour réunir tout cet ensemble de qualités dans un seul système, ou peut-on espérer d'obtenir les mêmes résultats avec les courants continus ou avec les courants alternatifs simples ? Certains partisans de ces derniers estiment que les courants polyphasés ne constituent qu'un procédé de transition et sont appelés à disparaître dans un avenir peu éloigné, une canalisation à deux fils étant toujours plus simple et plus économique qu'une canalisation à trois fils. D'autres n'ont confiance que dans les courants continus ; d'autres, enfin, ne jurent que par les courants polyphasés.

Nous nous garderons bien de prendre parti entre ces différentes opinions, appuyées les unes et les autres par d'excellentes raisons qui justifient leurs divergences. Contentons-nous donc de signaler les progrès réalisés, et rappelons-nous qu'il y a assez à faire dans le domaine de l'industrie électrique pour que chacun des systèmes récolte une abondante moisson d'applications, en restant sur le terrain le plus favorable à son développement, et qui fera le mieux fructifier les qualités qui lui sont propres.

Transformation des courants alternatifs polyphasés en courant continu. — En parlant des expériences de Lauffen-Francfort, nous avons dû laisser de côté un point intéressant de ces expériences, et qui présente la plus grande importance au point de vue du développement industriel possible des courants alternatifs polyphasés ; nous voulons parler des procédés qui permettent la transformation facile de ces courants en

courants continus, en vue des applications qui exigent absolument que l'énergie électrique soit livrée sous cette forme, les applications électrochimiques, par exemple.

L'appareil de transformation, que représente schématiquement la *fig.* 12, permettra de saisir facilement le principe de l'appareil qui remplit cette fonction, en

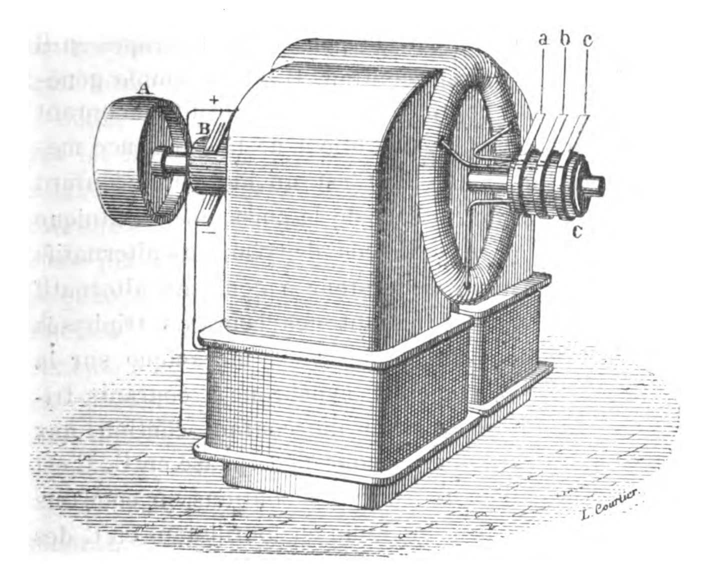


Fig. 12. — Appareils démontrant le principe des générateurs-moteurs à courants continus et alternatifs triphasés.

même temps que cinq autres que nous allons énumérer. Considérons une poulie A montée sur le même axe qu'un anneau Gramme muni de son collecteur B tournant dans un champ magnétique constant produit par deux inducteurs excités en dérivation. Sur trois points de cet anneau, distants l'un de l'autre de 120 degrés, sont attachés trois fils reliés à trois bagues

conductrices isolées entre elles, et sur lesquelles viennent appuyer en C, trois balais reliés à trois conducteurs *a*, *b*, *c*. Un semblable appareil auquel, à défaut d'un vocable court, on pourrait donner le nom de : générateur-moteur à courants continus et alternatifs polyphasés, peut remplir et remplit en réalité, suivant les besoins, six fonctions distinctes :

1° En fournissant de la puissance mécanique sur la poulie A, on recueille de la puissance électrique en B sous forme de courant continu. C'est un simple générateur à courant continu. 2° En fournissant du courant continu aux balais A, on obtient de la puissance mécanique sur la poulie B. C'est un moteur à courant continu. 3° En fournissant de la puissance mécanique à la poulie A, on recueille en C des courants alternatifs triphasés. C'est un générateur à courants alternatif triphasés. 4° En fournissant des courants triphasés en C, on obtient de la puissance mécanique sur la poulie A. C'est un moteur synchrone à courants triphasés. 5° En fournissant du courant continu aux balais B, on recueille du courant triphasé en C. C'est un transformateur de courants continus en courants alternatifs triphasés. 6° Enfin en fournissant en C des courants alternatifs triphasés, on obtient en B des courants continus. C'est un transformateur de courants triphasés en courant continu.

Il n'y a aucune difficulté technique à comprendre comment ces six fonctions différentes peuvent être remplies par un seul et même appareil. En effet, en ce qui concerne les deux premières, nous n'avons pas autre chose qu'une dynamo à courant continu reversible. La troisième fonction s'explique non moins facilement : le système tournant est une simple ma-

chine dynamo-électrique s'excitant elle-même, et comme chacun des trois tiers de l'euroulement développe, par sa rotation dans le champ inducteur, des forces électromotrices alternatives décalées de un tiers de période, rien n'est plus facile que de les recueillir en reliant les trois points de l'anneau aux trois bagues collectives. Nous obtiendrons le même résultat en faisant tourner l'anneau, non plus mécaniquement, mais à l'aide d'un courant continu, qui se trouve ainsi transformé en courants alternatifs triphasés.

Enfin, les courants triphasés arrivant dans l'anneau par les fils C font tourner l'anneau dans le champ magnétique, synchroniquement avec la fréquence du courant alternatif, la vitesse angulaire correspondant à une période par tour. On peut donc recueillir soit de la puissance mécanique sur la poulie A (quatrième fonction), soit enfin du courant continu sur les balais B (sixième fonction). Dans ce dernier cas, on transforme les courants alternatifs polyphasés en courant continu, directement applicable à l'éclairage, à la force motrice, aux opérations électro-chimiques, etc.

Cet appareil, dont nous venons d'indiquer le principe général, et dont il nous serait difficile de fixer historiquement les origines était représenté, à l'exposition internationale de Francfort, par deux types bien distincts : la machine de M. Dolivo-Dobrowolsky et celle de M. I. Schuckert.

La machine de M. Dolivo-Dobrowolsky remplissait la cinquième fonction et permettait ainsi à son inventeur de répéter, à n'importe quel moment de la journée, les expériences de transformation de la puissance électrique des courants alternatifs triphasés en puissance mécanique. On fournissait à la machine des courants

continus qu'elle transformait en courants alternatifs triphasés. L'enroulement de l'induit était non pas à anneau, mais à tambour, genre Siemens, ce qui ne change rien au principe général de fonctionnement. Les courants triphasés servaient à actionner les moteurs à champ tournant dont nous avons précédemment donné la description.

La machine de M. Schuckert, représentée *fig.* 13, et

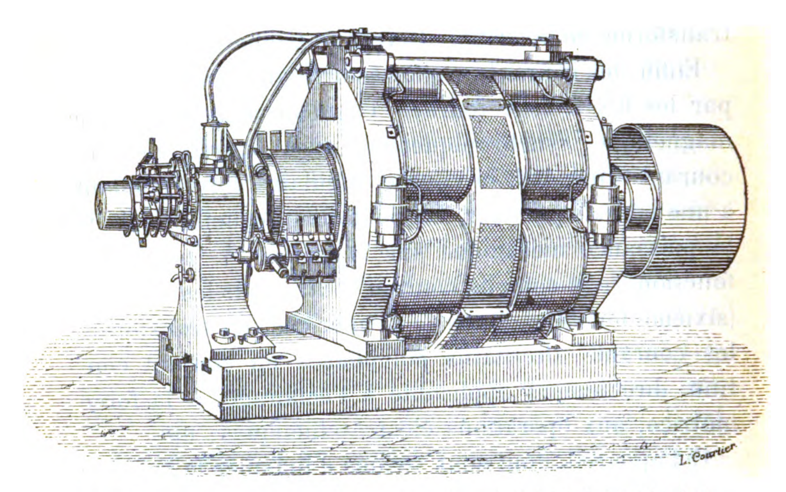


Fig. 13. — Générateur-moteur à courants continus et diphasés de M. Schuckert.

identique en principe à celle représentée *fig.* 12, produisait des courants alternatifs diphasés, c'est-à-dire deux courants alternatifs décalés de un quart de période. Ces courants envoyés dans un transformateur, étaient portés au potentiel de 2.000 volts puis transportés à distance sur une ligne à trois fils. A l'arrivée, ces courants de haute tension étaient ramenés une seconde fois à une tension de 100 volts environ dans un second transformateur, puis traversaient un

générateur-moteur identique à la machine génératrice du départ qui les transformait en courants continus. Ces courants continus desservaient une série de moteurs à courant continu de faible puissance, distribués dans la galerie du travail, où ils actionnaient des machines à coudre, des presses, des scies, etc.

L'exposition de M. Schuckert réalisait donc, dans son ensemble, la production de courants alternatifs diphasés de basse tension, leur transformation au départ en courants de haute tension, leur transport à dsitance, leur transformation à l'arrivée en courant de basse tension, leur transformation en courant continu, leur distribution sous cette forme, et, enfin, leur application à la mise en marche de petits moteurs à courant continu.

Nous avons tenu à signaler ces expériences, pour montrer avec quelle facilité on peut aujourd'hui mettre à profit, dans les conditions les plus diverses, les courants alternatifs et les courants continus, utiliser les hautes et les basses tensions, et combien l'énergie électrique se prête à affecter les qualités qui lui sont nécessaires en vue de telle ou telle application.

E. Hospitalier.



LA TÉLÉPHONIE

ET LES TAXES TÉLÉPHONIQUES

EN DANEMARK, EN SUÈDE ET EN NORVÈGE (*)

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

Le téléphone joue un rôle considérable en Danemark, en Suède et en Norvège. Dans les deux premiers de ces pays surtout, les plus reculées et les plus petites localités utilisent ce moyen de communication, sous une forme plus ou moins perfectionnée.

En Danemark, l'industrie téléphonique, pour les courtes comme pour les grandes distances, se trouve exclusivement entre les mains d'entreprises privées. L'administration des télégraphes de l'Etat se désintéresse absolument de ce moyen de communication et ne cherche pas à exercer la moindre influence sur l'emploi qui en est fait. On ne prévoit pas, pour le moment, un changement de vues sur ce point, pas plus que le rachat des réseaux téléphoniques privés.

En Norvège, l'État, en vertu de la loi du 19 mai 1881, a le monopole du télégraphe, du téléphone et des moyens de communication similaires. Échappent seuls à ce monopole : les lignes électriques construites par les particuliers pour leur usage propre et exclusif, les

(*) D'après *Archiv. fur Post und Telegraphie*, 1891.

lignes établies par les chemins de fer pour leur exploitation, et enfin les réseaux téléphoniques installés dans les limites d'une ville ou d'un district. Pour l'établissement de communications téléphoniques s'étendant au delà des limites précitées, l'État a accordé, dans chaque cas, aux compagnies intéressées, les autorisations nécessaires renouvelables de cinq en cinq ans et gratuitement, lorsqu'il s'est agi de relier téléphoniquement des localités non desservies par des bureaux télégraphiques. Mais quand il s'agit de rattacher par téléphone deux localités déjà pourvues du télégraphe, les propriétaires du réseau téléphonique doivent acquitter une indemnité équivalant à un tiers ou à la moitié du montant des recettes obtenues par l'échange des dépêches télégraphiques entre les deux points intéressés.

Dans les régions éloignées, l'État a établi lui-même et à ses propres frais des communications téléphoniques qui se raccordent au réseau télégraphique. Les circuits téléphoniques sont alors mis gratuitement à la disposition des habitants de la région, qui se cotisent entre eux et assurent l'exploitation à peu de frais. Le passage des télégrammes, sur ces lignes, est gratuit.

En outre, dans les régions des pêcheries, sur la demande de la commune intéressée, laquelle se charge d'assurer elle-même le service, l'État installe dans les bureaux télégraphiques ou sur les fils desservis, durant la saison de la pêche, par des appareils Morse, des postes téléphoniques qui servent aux époques de l'année où les fils seraient inutilisés. A titre de rétribution de ce service téléphonique, l'État paye une indemnité mensuelle de 10 à 30 couronnes; par contre, il conserve toutes les recettes de l'exploitation.

Mais c'est en Suède que le téléphone s'est surtout vulgarisé. La plus grande partie des communications téléphoniques sont entre les mains d'entreprises privées et dans ces derniers temps, l'État a commencé à leur faire une sérieuse concurrence.

L'administration des télégraphes de l'État s'applique surtout à relier progressivement, par circuits téléphoniques, entre elles et avec Stockholm, les localités les plus importantes du royaume. Il lui est chaque année accordé, à cette fin, des crédits extraordinaires. Pour réaliser son programme, elle a installé, dans Stockholm, un réseau téléphonique local auquel doivent s'abonner tous ceux qui désirent utiliser les communications à grandes distances. En outre, et également au moyen de crédits extraordinaires, elle rachète peu à peu les réseaux téléphoniques locaux et régionaux les mieux conditionnés. C'est ainsi qu'elle a déjà mis la main sur deux importants réseaux régionaux, ayant respectivement leurs centres à Malmö et Gothenburg, et construits autrefois par la compagnie Bell. Les deux villes ci-dessus sont reliées à la capitale. Les longues lignes rachetées par l'État sont au besoin transformées et reconstruites en tenant compte des derniers progrès de la science. L'on remplace notamment tous les fils en fer ou en acier par des fils de bronze. Pour assurer de bonnes communications à grandes distances, on relie tous les abonnés à leur bureau central au moyen d'un fil double; et comme, d'autre part, les longues lignes se composent toutes d'un double fil — sans intervention de la terre — l'on a ainsi, sur tout le réseau de l'État et jusqu'à la résidence de l'abonné, un circuit fermé. Pour étendre le cercle de ses opérations, l'administration des télégraphes consent des

abonnements relativement bas, bien inférieurs, surtout à Stockholm, aux tarifs des compagnies privées. En résumé, l'administration des télégraphes de l'État cherche, par le perfectionnement de ses installations et les chiffres minimes de son tarif, à gagner la confiance du public et à persuader ce dernier de la supériorité de son service.

DÉVELOPPEMENT DE LA TÉLÉPHONIE.

Comme nous l'avons déjà dit, en Danemark, en Suède et en Norvège, les réseaux téléphoniques couvrent toutes les parties du territoire. Ces réseaux ont été d'abord installés dans les villes principales, auxquelles les petites localités voisines n'ont pas tardé à demander et obtenir d'être rattachées. Ensuite les grandes villes ont été reliées entre elles soit aux frais communs des compagnies locales intéressées, soit par l'entremise d'entreprises particulières, entre les réseaux locaux primitifs; l'on n'a pas tardé à avoir tout un réseau de lignes interurbaines permettant de correspondro au travers de provinces entières.

Cette extension de la téléphonie dans les trois pays scandinaves s'est produite en un temps relativement court. Voyant les installations téléphoniques des grandes villes, les localités moins importantes, jusqu'aux minuscules, ont cru que leurs intérêts se trouveraient compromis si elles n'avaient pas recours, elles aussi, à l'usage du téléphone. En Suède même. ce mouvement a été trouvé un peu hâtif.

INSTALLATIONS TÉLÉPHONIQUES.

a) *Pour les petites distances.* — De grandes différences existent entre les diverses installations téléphoniques, quant à leur exécution. Dans les capitales, les entreprises, à la tête desquelles se trouvent des ingénieurs parfaitement expérimentés, se sont efforcés de procéder à des installations plus ou moins parfaites et de les améliorer ensuite d'après les règles données par l'expérience et les derniers progrès de la science. Parmi ces perfectionnements figurent : l'introduction des commutateurs multiples, l'emploi fréquent de câbles aériens et souterrains, la substitution de fils de bronze aux fils de fer et d'acier, le remplacement des lignes à un seul fil par des lignes à double fil, etc. Les villes importantes, elles aussi, possèdent des installations répondant en somme aux exigences. C'est ainsi qu'à Malmö et Gothenburg (Suède), à Aarhus et Randers (Danemark), l'on voit des réseaux téléphoniques que l'on peut considérer comme des modèles du genre et qui ne le cèdent en rien à ceux des capitales. Mais on arrive à des constatations tout autres si l'on examine les installations téléphoniques de la plus grande partie du pays, lesquelles appartiennent presque exclusivement à de petites entreprises locales ou à des associations de particuliers qui semblent avoir, en établissant leurs réseaux, visé surtout à l'économie, sans songer à recourir aux bons offices d'ingénieurs expérimentés. Les matériaux employés (poteaux presque à l'état brut, mauvais isolateurs, fils de qualité inférieure, commutateurs, appareils généralement

surannés), et dont la présence ne s'explique que par leur bon marché, ne contribuent pas peu à diminuer la somme des services que devraient rendre ces réseaux. Il est à peine possible d'utiliser nombre de ces installations pour converser avec une localité voisine, et, à plus forte raison, pour converser à de grandes distances.

Parmi les réseaux téléphoniques locaux, ceux de Copenhague, de Stockholm et de Christiania sont les plus intérééressants.

Le réseau de Copenhague appartient à la Société par actions des téléphones de Copenhague. Il comptait, en 1890, environ 2.000 raccordements, répartis entre cinq bureaux d'intercommunication. Le plus grand, le bureau central, peut recevoir 3.000 lignes, et chacun des quatre autres 400. Ces bureaux sont reliés directement entre eux par un certain nombre de fils (en moyenne un par dix lignes d'abonnés). Ils se trouvent tous installés dans des locaux loués. Les fils, originairement en acier, sont peu à peu transformés; en même temps, en effet, que l'on remplace dans la mesure du possible les circuits simples par des circuits métalliques, on met à profit cette circonstance pour substituer aux conducteurs en acier des conducteurs en bronze. Quant aux lignes nouvelles, elles sont établies uniquement avec du fil de bronze. A cette transformation correspond le remplacement de nombre de points d'appui dont la construction, devenue insuffisante, ne répond plus aux règles actuelles de la science. On substitue au bois le fer en tube ou le fer en ⊔ pour les montants avec des fers cornières ou des fers plats pour les traverses. En outre, les isolateurs en verre sur tiges en bois, utilisés de préférence au

début, font place aux isolateurs en porcelaine sur supports de fer. Il est une circonstance qui entrave grandement la transformation et l'accroissement du réseau : nous voulons parler des nombreuses lignes téléphoniques privées, dont les fils traversent, sans ordre aucun et à toutes les hauteurs, les rues et les places de la ville. La Société, depuis longtemps déjà — et, semble-t-il, au médiocre profit des communications — a donc été amenée à faire largement usage de câbles aériens et souterrains, sans être cependant parvenue, par ce moyen, à introduire dans son réseau l'ordre et la clarté désirables. Ces difficultés ont en outre l'inconvénient, au dire du directeur de la compagnie, d'empêcher la centralisation du service, que l'on tenterait si les circonstances étaient autres.

Les câbles proviennent pour la plupart de la fabrique Felten et Guilleaume, et servent surtout à relier les cinq bureaux d'intercommunication.

L'installation des bureaux d'intercommunication est simple. Le commutateur du poste central est du système multiple, fabriqué par la *Western-Electric C°*, d'Amérique. Les autres bureaux d'intercommunication ont des commutateurs Gilliland ou doivent être remplacés par des commutateurs du système multiple. L'appel a lieu au moyen de machines magnétos. Les appareils récepteurs et transmetteurs, même dans les bureaux d'intercommunication, sont du système Bell-Blake. Ayant constaté que le récepteur et le microphone de ce système donnent des résultats inférieurs à ceux fournis par les appareils d'autres modèles, la direction de l'exploitation se propose de perfectionner cette partie de son matériel.

Dans les bureaux d'intercommunication le service

est fait par des dames, rétribuées jusqu'à concurrence de 1^{cour},50 par jour pour six heures de travail.

Stockholm possède trois entreprises téléphoniques : la Compagnie du téléphone Bell, la Compagnie générale par actions des téléphones et l'administration télégraphique de l'État, avec un total (en 1890) de 7.150 postes. Toutes les trois se font une vive concurrence. La plus ancienne est la Compagnie du téléphone Bell, laquelle comptait, en 1890, environ 1.300 abonnés, tous reliés à un seul bureau. La construction de son réseau, ses installations n'offrent rien de particulier.

L'entreprise la plus importante des trois pays examinés est la Compagnie générale.

Elle comptait, en 1890, 5.400 abonnés. Dans la partie nord de la ville, elle possède un immense local qu'elle a édifié à grands frais — 600.000 couronnes — en 1887, en vue de son exploitation. Au premier étage de ce luxueux local se trouvent les bureaux de la direction, au deuxième et sous le toit est installée la station centrale avec les vastes salles nécessaires à l'exécution du service. Le toit est surmonté d'une haute et solide tour quadrangulaire, en treillis d'acier et destinée à recevoir les fils aboutissant au poste central.

De ce point central le réseau de la compagnie rayonne, par embranchements aussi compacts que possible, vers tous les points de la capitale et au delà. L'installation des fils, dans la partie nord de Stockholm, ne comporte aucune difficulté technique ; il n'en est pas de même pour le reste de la ville en raison des circonstances locales. Les divers quartiers de Stockholm sont en effet séparés par des canaux plus ou moins

larges, à navigation active. Cette circonstance fait qu'il n'est ni possible, ni pratique de faire franchir les canaux en question, en des points arbitrairement choisis, aux fils desservant les quartiers du sud. On a donc dû construire une grande ligne aérienne très élevée aboutissant dans le quartier — une presqu'île — au milieu duquel s'élève le palais royal; de là partent ensuite plusieurs gros embranchements de fils dans la direction du quartier sud. A partir de ce point, le rayonnement des conducteurs n'a plus présenté de difficultés.

Le quartier sud possède un bureau d'intercommunication relié au poste central par un certain nombre de fils. Les deux autres bureaux d'intercommunication, installés à l'origine, ont été supprimés dès 1887. En ce qui touche le côté technique du réseau examiné, il y a lieu de faire les remarques suivantes : les points d'appui, pour la plupart ornementés à leur partie supérieure, sont des fers de divers profils. Les poteaux sont le plus souvent fixés aux fermes des toitures ou dans la maçonnerie de l'immeuble qui les supporte ou encore installés, à l'aide d'une selle, sur le faîte même du toit. Ces poteaux sont maintenus par des haubans. On utilise des fers cornières et en ⊔. Cette dernière forme est préférée pour les poteaux très chargés, lesquels sont encore renforcés par des croix de Saint-André et des ancrages en fer rond. Pour consolider les poteaux installés aux carrefours et ceux ayant besoin de renfort pour quelque autre cause, on a recours à des haubans solides en gros fils ou encore en fers ronds. Comme isolateurs, on emploie de préférence des doubles cloches en porcelaine — plus rarement en verre — de dimensions moyennes. Les conducteurs, à l'origine en fil d'acier d'un peu plus de 0^{m},002, sont aujourd'hui

remplacés par des fils en bronze de différents diamètres. Les expériences dans ce sens ne sont pas encore terminées. Pour le raccordement des appareils des abonnés désirant correspondre à de grandes distances, l'administration des télégraphes de Suède, qui assure le service des grandes distances, prescrit l'emploi d'un fil de bronze de $0^{m},00125$.

Par suite de difficultés analogues à celles mentionnées à propos de Copenhague, la Compagnie générale a été conduite à l'emploi assez étendu de câbles aériens.

Pour empêcher le bourdonnement des fils, de chaque côté des points d'appui et sur chaque conducteur sont librement tendus des spirales de fils d'une longueur de 1 mètre à $1^{m},50$ (*). Cette disposition répond probablement au but en vue, mais l'apparence est loin de flatter l'œil, sans parler de la régularité de la suspension des fils qui se trouve ainsi compromise. On n'emploie aucune soudure pour joindre les fils, et l'arrêt sur les isolateurs est, peut être, exécuté un peu grossièrement. Les attaches trop faibles occasionnent la chute des fils, d'où de fréquents mélanges. La propreté des isolateurs ne semble pas l'objet d'une grande attention. C'est à ces défauts qu'il faut probablement attribuer les bruits de friture que l'on constate sur les fils de ce réseau et qui entravent, dans une forte mesure, le bon fonctionnement des appareils. On ne paraît pas avoir pris de précautions spéciales contre les décharges d'électricité atmosphérique.

Le bureau central de la Compagnie générale offre

(*) Ce dispositif nous paraît semblable à l'un de ceux qu'a préconisés M. Bardonnaut et qu'il a décrits dans les *Annales télégraphiques*, t. XII, 1885, p. 26.

un intérêt tout particulier pour l'homme du métier. Il se trouve installé dans une grande salle quadrangulaire éclairée d'en haut, luxueusement installée, d'une hauteur de deux étages et capable de contenir les tableaux nécessaires pour 7.000 lignes. A mi-hauteur, sur les côtés les plus petits de la pièce, court une galerie d'où l'on domine la salle et sur laquelle débouchent les autres bureaux. De cette galerie l'on atteint les étages supérieurs et la tour. Les commutateurs employés appartiennent au système multiple américain. Les tableaux disposés sur les deux longs côtés de la salle, contiennent chacun 200 annonciateurs par section et sont actuellement pourvus de jacks en nombre suffisant pour 4.000 lignes ; ils peuvent contenir jusqu'à 7.000 jacks. Quinze cents abonnés se trouvent encore actuellement reliés au bureau d'intercommunication desservant la partie sud de la ville. Lorsque le poste central sera complètement installé, il desservira directement ces derniers abonnés — au moyen de câbles souterrains s'il est nécessaire — et le bureau d'intercommunication disparaîtra. L'installation de ce dernier est identique à celle du poste central.

Le service est assuré exclusivement par des dames à raison de deux par section, trois aux heures les plus chargées. Les appels se font au moyen de magnétos. Les postes de service du bureau central sont portatifs et du système Ericcson. Sans doute, en utilisant des appareils portatifs, l'agent n'a qu'une seule main libre pour opérer les mises en communication ; mais c'est là un inconvénient auquel il ne faut pas attribuer trop d'importance lorsqu'il s'agit, comme à Stockholm, d'assurer un service peu chargé. Avec un travail considé-

rable, il ne serait guère facile de se passer du concours de la seconde main et la valeur pratique d'appareils de ce genre serait contestable. Durant les moments de repos, les dames employées tiennent sur leurs genoux le poste portatif leur servant à communiquer avec les abonnés. Ces derniers ont à leur disposition des postes du système Bell-Blake dans lesquels on substitue, sur leur demande, un microphone Ericcson à poudre de charbon. Maintenant on n'installe plus que des postes Ericcson. Le courant est fourni par un élément Leclanché. Les abonnés qui désirent être reliés au réseau des lignes à grandes distances, doivent contracter un abonnement auprès de l'administration des télégraphes de l'État et employer les appareils Ericcson adoptés par elle.

Sur l'un des petits côtés de la salle, au-dessous de la galerie sus-mentionnée, se trouve installé un commutateur central relié, par un certain nombre de conducteurs, aux tableaux annonciateurs spéciaux aux abonnés groupés sur des circuits communs à l'aide de commutateurs automatiques dits *inverseurs* (*); le commutateur central communique avec les appareils auxiliaires et autres installations nécessaires pour le fonctionnement des appareils automatiques. Il est desservi par un agent spécial.

Quant aux appareils automatiques, qui offrent quelque chose d'attrayant à première vue, ils ne présentent pas encore, au dire des techniciens expérimentés, tout le degré de sécurité désirable : souvent ils refusent le service sans cause apparente et, par là, donnent lieu à des perturbations regrettables qui

(*) Voir *Annales télégraphiques*, t. XVI, 1889, p. 494, et *Journal télégraphique de Berne*, t. XI, 1887, p. 193; t. XIV, 1890, p. 69.

provoquent les réclamations du public. Cependant ces appareils automatiques sont fort employés.

L'organe de permutation des conducteurs mérite encore une mention spéciale. Il se trouve au-dessus de la grande salle dans un vaste pavillon édifié sur le toit, à l'intérieur du bâtis de la tour.

La troisième entreprise téléphonique de Stockholm, comme nous l'avons dit plus haut, est celle de l'administration télégraphique de Suède. Elle comptait en 1890 environ 450 postes d'abonnés. Son bureau central se trouve installé près du château royal, dans les locaux renfermant le bureau central des télégraphes. En installant le réseau, l'on a eu à vaincre des difficultés dues à l'emplacement désavantageux du poste central; car, pour mener les conducteurs dans la partie nord de la ville, l'on n'a pu utiliser qu'un seul pont, et, vers le sud, on ne disposait que d'une étroite bande de terre. Jusqu'ici, les conducteurs allant vers les quartiers nord et sud sont des fils ou des câbles aériens. Cependant, pour avoir ses coudées franches en cas d'accroissement du réseau, l'administration suédoise se propose d'y substituer des câbles souterrains et d'installer des conduites tubulaires dans lesquelles passeront ces câbles. Le réseau est construit avec grand soin, car il est surtout destiné aux communications à longues distances. Les abonnés sont reliés au poste central au moyen d'un double fil.

Le réseau téléphonique de l'État ne comporte que des fils de bronze. Les conducteurs aboutissent à une herse fixée sur le toit de l'hôtel des télégraphes et pouvant être agrandie. De cette herse les conducteurs gagnent, par des fils isolés, une salle ménagée sous le toit et où se trouve le répartiteur, puis sont acheminés,

par des câbles, vers les salles de service. Le poste central, qui, jusqu'ici, renfermait des tableaux annonciateurs Gilliland, a été réorganisé avec un commutateur multiple. Les tableaux multiples ont été construits dans les ateliers Ericcson et ils ressemblent à ceux de la Compagnie générale; ils sont néanmoins de dimensions moindres et disposés pour les lignes à double fil. Quelques perfectionnements doivent y être encore apportés. L'appel a lieu au moyen de machines magnétos, et les conversations avec les abonnés sont faites au moyen d'appareils portatifs Ericcson. Le service est assuré par des dames subissant au préalable un examen spécial. Les abonnées sont pourvus d'appareils Ericcson; leur installation comprend une magnéto, un microphone à poudre de charbon, un élément Leclanché, un téléphone Bell avec aimant en fer-à-cheval.

Le réseau téléphonique local le plus important de Norvège est celui de la Société des téléphones, à Christiania. Il possédait, en 1890, 3.000 postes d'abonnés.

La société actuelle, due à la fusion de deux sociétés, antérieurement concurrentes, a obtenu de la ville une concession de quinze ans, la municipalité se réservant le droit de racheter le réseau, à l'expiration de cette période, au prix qu'il aura alors, et d'assurer elle-même la continuation de l'exploitation. Depuis la fusion, la construction du réseau devient uniforme et les circuits unifilaires disparaissent. Ces circuits, en fer ou en acier à l'origine, sont remplacés par des lignes doubles en fils de bronze de $0^{m},00125$. Cependant le nombre des circuits unifilaires est encore considérable.

Les isolateurs, à doubles cloches, sont en porcelaine.

Jusqu'ici l'on n'a payé aucune indemnité pour l'utilisation des maisons appelées à recevoir les poteaux; mais il devient, surtout aux abords du bureau central, de plus en plus difficile d'obtenir des propriétaires les autorisations à ce nécessaires. Aussi la Société se propose-t-elle d'employer dans cette partie de la ville des câbles aériens pour parer à l'accroissement du réseau. Pour le moment, il suffira de donner à ces câbles aériens une longueur de 300 à 400 mètres à partir du poste central. Ces câbles proviennent de la fabrique Felten et Guilleaume. Le bureau central occupe dans le haut quartier, non loin de la grande rue de Christiania, un immeuble qui appartient à la compagnie.

Les deux étages du local renferment les bureaux d'administration. Sous le toit, est aménagé un atelier de réparation. Dans son ensemble, l'installation est rationnelle et l'aménagement flatte l'œil. Le poste central occupe presque tout le rez-de-chaussée en une seule salle, dans laquelle sont en outre disposés les commutateurs. Ces derniers appartiennent au système multiple dicorde; les sections ont une capacité de 5.000 lignes. Le nombre de sections sera au besoin augmenté jusqu'à satisfaire au reliement de 5.000 abonnés. Les appels, chez l'abonné et au poste central, sont faits à l'aide de machines magnétos. Les correspondances avec les abonnés se font au moyen d'appareils Berthon. Chez les abonnés et dans les cabines téléphoniques se trouvent généralement des appareils Bell-Blake. La Société se propose de remplacer les microphones Blake par un nouveau microphone à poudre de charbon, récemment breveté en Norvège, celui de Oyan. (*A suivre.*)

CHRONIQUE.

Nécrologie.

GAILLARD (François-Alexandre-Narcisse).

Nous avons le regret d'annoncer la mort de M. Gaillard, directeur-ingénieur en retraite, qui a été enlevé en quelques heures par une pneumonie, le 10 décembre 1891.

Né à Benassay (Vienne), le 25 février 1823, Gaillard fut admis à l'École polytechnique en 1841. Il en sortit avant l'expiration de la période réglementaire d'études, afin de se présenter au concours d'admission à l'emploi d'élève-inspecteur du service télégraphique. A la suite de ce concours, il entra dans l'administration le 1er août 1843, quelques mois seulement avant Eugène Gounelle (*) et Anatole Richard (**) que la mort a frappés depuis longtemps en pleine maturité, mais dont les noms sont restés inséparables des débuts de la télégraphie électrique en France. Ces trois hommes remarquables, admis par mesure individuelle, précédaient ainsi une longue série d'élèves de l'École polytechnique, classés régulièrement dans le service des télégraphes, suivant leur rang aux examens de sortie, par application de l'ordonnance royale du 11 août 1844. Ils devaient servir de trait d'union entre l'ancienne et la nouvelle télégraphie et faciliter la transition.

En 1843, la télégraphie optique ou aérienne régnait encore sans partage.

Après son stage d'élève-inspecteur, Gaillard fut chargé, en 1844, comme inspecteur provisoire, d'une division de la ligne de Paris à Boulogne avec résidence à Lille, où il resta trois ans.

L'ordonnance du 8 juin 1844 avait créé en Algérie un ser-

(*) *Annales télégraphiques*, 2e série, T. VII, 1864, p. 92.
(**) *Annales télégraphiques*, 2e série, T, II, 1859, p. 662.

vice de télégraphie dont le personnel était emprunté à l'administration métropolitaine. Gaillard y fut appelé en janvier 1847 et y passa quatre années, remplissant successivement les fonctions d'inspecteur, de traducteur et de directeur suppléant. Il fut ainsi associé, pendant la période qui suivit la conquête et qui était encore pleine de difficultés, aux travaux que comportaient le développement du réseau des télégraphes optiques de l'Algérie et l'établissement de communications avec les colonnes chargées d'assurer la pacification du pays.

A son retour en France, en janvier 1851, il fut placé comme secrétaire-traducteur au bureau des dépêches.

Dans l'ancienne organisation des télégraphes, qui n'étaient établis que pour l'usage exclusif du gouvernement, ce bureau, placé sous les ordres immédiats de l'administrateur en chef, avait un rôle des plus importants et formait une institution originale. Chacun des deux administrateurs y prenait le service à tour de rôle. La règle était d'y appeler, avec le titre de secrétaire, les inspecteurs les plus expérimentés et proposés pour l'emploi supérieur de directeur. Ces secrétaires avaient la garde du vocabulaire des signaux, composaient les dépêches au départ, les traduisaient à l'arrivée et en surveillaient l'acheminement, en utilisant tous les moyeus dont on pouvait disposer pour parer aux interruptions si fréquentes des lignes et passer par-dessus les lacunes accidentelles que pouvaient amener non seulement les intempéries, mais aussi les événements politiques. Ces fonctions exigeaient une grande sûreté de jugement et un tact exercé. Aussi le passage par le cabinet des dépêches était-il considéré comme une préparation aux fonctions de directeur et comme une épreuve que les candidats subissaient sous les yeux même de l'administrateur en chef et des administrateurs des deux divisions.

Cette épreuve fut très favorable à Gaillard. Au bout de quelques mois, en mai 1851, il fut envoyé de nouveau à Lille, qu'il avait déjà habité, pour remplir les fonctions de directeur intérimaire. Il y retrouva un service bien différent. Cette ville était de celles en nombre très restreint qui, dès 1849, étaient déjà reliées à Paris par une ligne de télégraphie électrique. Mais Gaillard n'y fit cette fois qu'un très court séjour. Il fut appelé comme directeur au Havre, en juillet 1851. Déjà

familiarisé avec la télégraphie optique, il dut se mettre à étudier pratiquement les télégraphes électriques.

La ligne de Paris au Havre, dont la construction remontait à l'année 1844, était la première ligne électrique établie en France ; elle attirait particulièrement l'attention de l'administration et était ordinairement choisie pour les essais. Au moment où Gaillard en prit la direction, on venait d'inaugurer le service de la télégraphie privée créé par la loi du 29 novembre 1850. Les États-Unis d'Amérique nous avaient déjà précédés dans cette nouvelle application de la science et de la télégraphie aux intérêts publics et y marchaient à pas de géants. Par des relations suivies, la ville du Havre était au courant des progrès réalisés au delà de l'Atlantique. Ses habitants, les voyageurs qui la traversaient ne manquaient pas de stimuler le zèle de l'administration française et de lui demander incessamment des améliorations. Les publications du temps nous ont conservé l'écho de la vivacité que prenaient ces revendications (*).

Dans un milieu si favorable au progrès, Gaillard se préparait à prendre part personnellement aux transformations qui devaient amener un remarquable développement du service télégraphique.

Au mois de juin 1854, lorsque sur la proposition de M. le vicomte de Vougy, le gouvernement donna à l'administration des lignes télégraphiques une organisation (**) mieux appropriée à ses nouvelles destinées et qui modifiait les cadres et les attributions de tout le personnel. Gaillard reçut le titre d'inspecteur, comme la plupart des anciens directeurs et, bientôt après, il fut mis en mesure d'utiliser l'expérience pratique qu'il avait acquise au Havre dans le service de la télégraphie électrique. Par décision du 16 juin 1854, il fut attaché à la première division de l'administration centrale et chargé de diriger le bureau de la télégraphie privée dont les attributions étaient sensiblement les mêmes que celles du bureau actuel des correspondances télégraphiques.

Durant la première période d'organisation, toutes les ques-

(*) Voir Moigno, *Télégraphie électrique*.

(**) Décrets des 1er et 4 juin 1854.

tions étaient nouvelles. Les règles du service, les tarifs, le réseau, les appareils étaient l'objet d'incessants remaniements. Gaillard déploya dans l'étude de ces transformations des qualités d'administrateur et d'ingénieur de premier ordre. Chargé de plusieurs missions, en Belgique, en Prusse, en Piémont, pour conclure des arrangements internationaux, il en profita pour recueillir sur l'organisation et l'outillage du service à l'étranger des renseignements qui ont été publiés dans la première série de ce recueil (*).

Après avoir passé moins de deux ans à l'administration centrale, il reprit son rang dans le service extérieur pour lequel il manifestait une préférence marquée et qui répondait mieux à ses goûts personnels. Il fut appelé successivement en mars 1856, à Bayonne, comme inspecteur de la ligne de Bordeaux à la frontière d'Espagne, en avril 1859, à Nancy, comme directeur divisionnaire d'une circonscription comprenant plusieurs départements et enfin, le 22 février 1862, à Bordeaux qu'il ne devait plus quitter.

Pour des motifs auxquels la politique n'était peut-être pas entièrement étrangère, les directions principales et les grandes divisions du réseau établies en 1854 avaient été supprimées et la division départementale avait été strictement appliquée aux circonscriptions télégraphiques. Gaillard fut d'abord chargé de la Gironde comme inspecteur chef de service correspondant directement avec l'administration centrale. Mais l'expérience ne tarda pas à montrer l'insuffisance de cette organisation. Un décret du 28 janvier 1865 rétablit les grandes circonscriptions dont le nombre était limité à huit, y compris l'Algérie. Gaillard fut placé avec le titre d'inspecteur divisionnaire à la tête de celle qui comprenait les lignes de Paris à Bordeaux et à la frontière d'Espagne, et les embranchements qui s'y rattachent. Son action devait s'exercer principalement sur le service des transmissions et sur le fonctionnement des lignes interdépartementales et internationales. Il était encore, à certains intervalles, chargé, comme ses collègues et par délégation spéciale, d'une inspection générale qui s'étendait à tous les détails du service, et à tout le personnel de la circonscription.

(*) T. I, 1855, p. 42, 52, 199; T. II, 1856, p. 10.

Le souvenir des services qu'a rendus, dans le service télégraphique, l'institution des grandes circonscriptions est encore vivant pour tous ceux qui ont pu en apprécier les résultats pratiques.

Le choix de Gaillard pour l'un des postes le plus en évidence était d'ailleurs des plus heureux. Il y était préparé par une expérience consommée et apportait dans ces importantes fonctions un esprit de justice très apprécié. Aussi son autorité s'affirma-t-elle de plus en plus.

En 1866, il fut nommé chevalier de la Légion d'honneur.

Pendant la guerre de 1870-1871, les chefs de service de l'administration centrale ayant été retenus à Paris, il fut désigné au choix de la délégation du gouvernement de la Défense nationale, par M. l'inspecteur général Pierret, son contemporain, qui connaissait toute sa valeur, pour assister de ses conseils le directeur général des télégraphes. Il trouva à Tours des collaborateurs dévoués et actifs qui ont su, dans des circonstances difficiles, maintenir le bon renom du service télégraphique et en utiliser merveilleusement toutes les ressources (*).

La mission de Gaillard était des plus délicates. Il y apporta, comme on devait s'y attendre, une grande sagacité, mais peut-être aussi trop de réserve et de modestie.

Aussitôt après l'armistice, il s'empressa de reprendre ses fonctions dans une circonscription à laquelle il s'attachait de plus en plus.

En 1876, il prit le titre de directeur de région qui remplaçait celui d'inspecteur divisionnaire, et, au moment de la réunion des télégraphes et des postes, en 1878, il entra comme directeur ingénieur dans le service technique, continuant à apporter dans ces postes successifs le même esprit d'initiative, d'ordre et de méthode. Ses longs et dévoués services lui valurent, en 1879, le grade d'officier de la Légion d'honneur.

Gaillard fut admis à la retraite, en 1883, et se fixa à Bor-

(*) Le service technique était dirigé par le regretté Moncel, emporté en pleine maturité, avant son ancien chef, au moment où, répondant à l'appel que l'administration avait encore fait à son dévouement, il venait entreprendre une nouvelle tâche et se consacrer à l'organisation du service téléphonique.

deaux, qu'il habitait depuis 1862, et où la mort est venue le surprendre.

Ses obsèques ont eu lieu à l'église Saint-Seurin, au milieu d'une assistance considérable, témoignant des sympathies qu'il s'était acquises et des regrets qu'il laissait dans sa ville d'adoption. Le préfet de la Gironde, le maire de Bordeaux, le directeur, tout le personnel supérieur et des délégations des services des postes et télégraphes, les ingénieurs du département et d'anciens collègues ou successeurs de Gaillard, qui se sont également fixés à Bordeaux, MM. Droguet et Pledy sont venus s'associer à ces témoignages d'estime et de regrets.

Tous ceux qui ont connu Gaillard, conserveront le souvenir de l'aménité de son caractère, de sa bienveillance, de sa vive intelligence et de son désintéressement.

Le comité de rédaction des *Annales* ne saurait oublier qu'il avait été l'un des fondateurs et l'un des premiers collaborateurs de ce recueil, qu'il l'avait encouragé, au début, de toutes ses sympathies. Nous lui devions un témoignage particulier d'affectueuse reconnaissance. L. R.

Belz (Jules-Edmond).

M. Belz (Jules-Edmond), inspecteur adjoint à l'inspection générale des postes et des télégraphes, est mort, à Paris, le 30 décembre dernier.

L'Administration a perdu en lui un de ses fonctionnaires les plus distingués.

Les lecteurs des *Annales télégraphiques* ne seront pas surpris de voir rendre à sa mémoire, dans ce recueil spécial, un hommage mérité. J'ose même espérer qu'ils trouveront tout naturel que le regretté Belz, étant devenu dans ces dernières années mon adjoint et, en quelque sorte, mon coadjuteur, j'aie considéré comme un devoir de ne laisser cet honneur à aucun autre.

Je vais donc essayer de retracer sa carrière aussi fidèlement que je le pourrai.

Né, le 6 novembre 1830, à Lyon, Belz entra à l'École poly-

technique en novembre 1849, à l'âge de dix-neuf ans. Deux ans après, il fut, en vertu de son rang de sortie, classé dans le service des lignes télégraphiques. A ce moment, la télégraphie électrique était encore à son aurore; comme nous tous, Belz débuta par la télégraphie aérienne et fut envoyé faire ses premières armes en Algérie, en 1852.

Un service de télégraphie aérienne de campagne ayant été organisé en Crimée en 1854, Belz demanda et obtint d'être détaché dans ce service. Malgré les dures fatigues de la campagne de Crimée, il se fit constamment remarquer par un entrain et un sang froid auquel les juges les plus compétents rendirent hommage.

Rentré en France, après cette mission si bravement accomplie, il occupa avec distinction les fonctions de son grade à Cette, à Montpellier, à Saint-Étienne et enfin à Lyon, sa ville natale.

Cette résidence était depuis longtemps déjà son objectif et il la sollicitait avec persévérance; car le culte de la famille constituait un des traits dominants de son noble caractère. Mais il venait à peine d'atteindre le but de ses désirs qu'éclata la guerre d'Italie. Un service télégraphique fut attaché à l'armée et celui qui avait si bien réussi en Crimée se trouva tout indiqué pour en faire partie. Belz n'hésita pas à quitter sa famille et à affronter cette nouvelle campagne. Il s'y fit remarquer, comme dans la première, ne reculant devant aucune fatigue et montrant toujours une activité extraordinaire. Aussi, reçut-il, comme récompense, la croix de chevalier de la Légion d'honneur, le 12 août 1859. Il avait alors vingt-neuf ans.

Après cette seconde mission, Belz occupa d'abord les fonctions d'inspecteur à Lyon, puis devint chef de service départemental à Grenoble, à partir de juin 1861.

Il est resté plus de dix-sept ans à la tête du service télégraphique du département de l'Isère. Et pendant cette période, les notes qui lui furent données par les inspecteurs généraux sont toutes des plus élogieuses: elles s'accordent à mettre en lumière ce double caractère qu'il possédait de savoir être toujours et partout à sa place aussi bien dans les situations difficiles que dans les circonstances ordinaires.

En 1878, lors de la fusion des postes et des télégraphes, Belz,

que ses connaissances spéciales et sa science télégraphique désignaient pour le service technique, fut nommé directeur-ingénieur de la région de Marseille. Dans ces fonctions, dont l'exercice exigeait du tact, de l'ampleur de vues en même temps qu'un caractère ferme et conciliant, il réussit complètement. Le service télégraphique ne périclita pas un seul instant dans sa région.

C'est pendant cette période de sa carrière qu'il a rendu à l'Administration un service qui mérite une mention spéciale. Il fut chargé comme directeur-ingénieur de représenter l'Administration dans le procès Muihread-Ailhaud. A cette occasion, il établit des rapports techniques d'autant plus remarquables par la clarté et la solidité de l'argumentation que le sujet était des plus ardus et des plus complexes. Les experts adoptèrent les conclusions d'un de ces rapports, et ce fut ainsi qu'après huit années d'efforts, l'Administration finit par obtenir un jugement en sa faveur. Ce succès, qui a permis d'appliquer, sur les câbles sous-marins de l'Algérie, le système de transmission en duplex, imaginé par Ailhaud, sans avoir à payer des droits de brevet, s'est traduit par une économie considérable pour le Trésor.

En 1880, la croix d'officier de la Légion d'honneur vint récompenser les services toujours brillants, et déjà longs, du directeur-ingénieur de Marseille.

En 1886, lors de la suppression du service technique en province, Belz fut tout naturellement appelé à Paris comme inspecteur principal du Contrôle et membre du Comité des travaux.

En 1891, au moment où le service du contrôle céda la place à l'institution de l'Inspection générale des postes et des télégraphes, il ne manifesta d'autre ambition que celle de rester dans le nouveau service en qualité d'adjoint à l'inspecteur général de la 3e circonscription. C'est que cette circonscription comprenait son ancienne région à laquelle il s'était profondément attaché. Il en avait construit presque toutes les lignes, aménagé la plupart des bureaux, et les installations techniques des grands postes de Marseille et de Lyon n'avaient aucun secret pour lui.

Il serait trop long d'énumérer les travaux de Belz pendant

sa carrière. On peut dire qu'il n'est pas un seul genre d'opérations dans laquelle il n'ait montré son esprit lumineux, son expérience et sa perspicacité.

Sans parler d'un nombre considérable de constructions de lignes aériennes, il a pris une part active à l'établissement du réseau des lignes souterraines à grande distance. Durant ces dernières années, c'était vers la construction des lignes téléphoniques qu'il avait surtout dirigé ses efforts. Il a indiqué un modèle d'appui multiple qui, par sa simplicité et son prix modeste est certainement le meilleur modèle connu à ce jour.

Dans les travaux d'installation technique des bureaux son concours n'était pas moins appréciable ; c'est lui qui a encore fait récemment l'aménagement de l'hôtel des postes et des télégraphes de Marseille.

L'exploitation télégraphique a été pour lui l'objet d'une préoccupation constante : nous l'avons vu se livrer à de continuelles recherches en vue d'améliorer le rendement des communications télégraphiques et notamment celui des câbles d'Algérie. Il poursuivait encore, au jour de sa mort, l'idée d'exploiter au recorder les lignes souterraines à grande distance, comme les câbles sous-marins. Il avait entrepris, a cet effet, entre Paris et Marseille une série d'essais qui, dès le début, ont semblé confirmer son idée.

Après avoir rappelé à grands traits la carrière administrative du regretté Belz, je serais tenté de dire quelques mots de sa vie privée. Toutefois, je suis arrêté par un scrupule que comprendront certainement tous ceux qui l'ont connu. Il trouvait, en effet, tout naturel d'accomplir quotidiennement les actes de dévouement et d'abnégation personnelle les plus touchants, mais il n'aimait pas qu'on lui en parlât et il se fâchait pour ainsi dire si on voulait lui en attribuer le moindre mérite. Est-il d'ailleurs utile d'insister sur ce sujet, et cette réserve même n'est-elle pas le meilleur des hommages.

Après avoir lu ce qui précède, trouvera-t-on surprenant que Belz ait désiré qu'aucun honneur funèbre ne lui fût rendu à Paris. C'était dans une petite ville de l'Ardèche, au Pouzin, qu'il avait caressé l'espoir de se reposer au moment où sonnerait pour lui l'heure de la retraite ; c'est là qu'il est allé retrouver sa

famille aimée pour dormir auprès d'elle son dernier sommeil.

Ses obsèques ont eu lieu au Pouzin, au milieu d'un grand concours d'amis. Le personnel des départements des régions de Lyon et de Marseille y était largement représenté.

M. Brusson, directeur de l'Ardèche, a dit les services rendus à l'administration par le fonctionnaire actif et intelligent qu'avait été Belz et la perte cruelle qu'elle faisait en lui.

M. Salomez, inspecteur à Marseille, a parlé au nom du service technique et exprimé les regrets que laissait à tous, dans le service, l'homme aimé auquel il apportait le dernier adieu.

M. Bourron, vice-président de la société des touristes du Dauphiné, dont Belz fut pendant longtemps le président plein de zèle et de dévouement, lui a dit adieu au nom de cette Société.

Enfin, un dernier hommage a été rendu à sa mémoire par M. de Selves, directeur général des postes et télégraphes et président du conseil d'administration, dans la séance de cette assemblée en date du 8 janvier dernier.

Voici l'extrait du procès-verbal de cette séance.

« M. le président traduit le sentiment de profonde tristesse qui est celui de tous en pensant que M. Belz ne siège plus au conseil. Tous les membres ont su apprécier ses qualités de cœur et d'esprit. Le procès-verbal doit garder la trace du souvenir donné à celui qui a été non seulement un ingénieur distingué, mais un homme de bien. A une époque où le désintéressement est rare, des hommes comme M. Belz sont l'honneur de l'administration.

« M. le président croit être l'interprète de tout le conseil en déclarant que sa mémoire doit être pieusement gardée dans tous les cœurs. »

BOUSSAC.

LE VICOMTE HENRY DE VOUGY.

M. le Vicomte Henry de Vougy, ancien directeur général des lignes télégraphiques, vient de mourir à un âge avancé dans son château de Chamarande, département de la Loire.

Il avait été, pendant quatorze ans, placé à la tête de l'administration et avait présidé au développement du service

télégraphique en France durant une période féconde en progrès et en transformations de tout ordre.

Son nom appartient à l'histoire de la télégraphie française. Nous devons nous borner aujourd'hui à enregistrer sa mort et à saluer respectueusement sa mémoire, nous proposant de consacrer une notice à l'étude des principaux faits qui ont marqué son passage à la tête de l'administration des lignes télégraphiques.

BIBLIOGRAPHIE

Traité pratique d'électricité, par M. Félix LUCAS.

M. Lucas, ingénieur en chef des ponts et chaussées, qui, pendant plusieurs années, a été attaché au service des phares et a étudié de près nombre de questions relatives aux applications industrielles de l'électricité, vient de publier, chez MM. Baudry et Cᵉ, un *Traité pratique d'électricité* destiné aux ingénieurs et aux constructeurs, et contenant à cet effet un exposé de la théorie en même temps que des renseignements sur les détails pratiques de construction et d'installation du matériel des exploitations électriques.

La première partie de cet ouvrage, qui débute par l'exposé du système des unités absolues, est consacrée au développement de la théorie du magnétisme, de l'électricité statique, des courants électriques et de l'électromagnétisme. L'auteur a donné les théorèmes essentiels et a visé au maximum de simplicité dans les démonstrations. Nous citerons, à titre de curiosité, dans cette première partie, les paragraphes 70 et 81 relatifs à la *Résolution électromagnétique des équations algébriques*, question étudiée personnellement par M. Lucas.

La deuxième partie contient une description un peu sommaire de quelques instruments de mesure électrique et des principales méthodes de mesure. La troisième partie : Piles, Accumulateurs et Machines électrostatiques, a reçu moins de

développements encore en raison de sa moindre importance au point de vue industriel.

Dans la quatrième partie, l'auteur, après avoir étudié théoriquement les éléments des machines dynamo-électriques, en décrit les principaux types et consacre quelques pages au calcul pratique d'une machine devant satisfaire à certaines conditions imposées. Il cite ses propres expériences relatives au fonctionnement de la machine de Méritens employée dans le service des phares.

La description des canalisations et des systèmes de distrition électrique, et celle des principaux transformateurs et électromoteurs font l'objet de la cinquième partie. Enfin, la sixième partie est consacrée à la lumière électrique, à la transmission électrique de la puissance mécanique, à la traction électrique et à l'électro-métallurgie; nous y signalerons les résultats obtenus par M. Lucas dans ses expériences sur l'incandescence du charbon.

Comme on le voit, ce Traité, qui est au courant des progrès les plus récents en électricité (jusqu'en 1891), atteint le but visé par son auteur. Il contient, condensés sous un assez faible volume et présentés sous une forme intéressante, les renseignements les plus essentiels que l'on trouve généralement dans des ouvrages divers, les uns théoriques, les autres pratiques. On y trouve, du reste, une note personnelle très marquée qui en relève l'intérêt. Le succès de cet ouvrage nous paraît assuré.

Gérant : Vᵉ DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 Mars-Avril

NOTE

SUR LA CAPACITÉ ÉLECTROSTATIQUE

DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

I. — M. Vaschy vient de publier (*) dans les *Annales télégraphiques* une intéressante note sur la capacité électrostatique des lignes télégraphiques. Dans cette note, après avoir constaté que les chiffres théoriques donnant la capacité d'une ligne aérienne sont toujours notablement au-dessous de ceux que donne l'expérience, il cherche à supprimer cette discordance en évaluant numériquement l'effet perturbateur causé par le voisinage d'autres fils.

M. Vaschy arrive à cette conclusion que l'effet des fils voisins tend à diminuer l'écart entre la théorie et l'expérience, mais qu'il est bien loin de combler la lacune.

(*) *Annales télégraphiques*, novembre-décembre 1891.

Or parmi les phénomènes que M. Vaschy énumère au début de sa note comme pouvant causer en tout ou partie le désaccord, il en est un qui nous paraît avoir une importance considérable et qu'il est aisé de soumettre au calcul, c'est l'existence des isolateurs, qui constituent de véritables condensateurs.

Considérons en effet une ligne à simple fil, et supposons qu'il pleuve en un point. La surface externe de l'isolateur est couverte d'eau, de même que le poteau. La console de l'isolateur (*fig.* 1) est donc alors à la terre, et nous avons deux corps conducteurs, la ligne et la console, séparés par un corps isolant, qui est le corps de l'isolateur. C'est bien là un véritable condensateur.

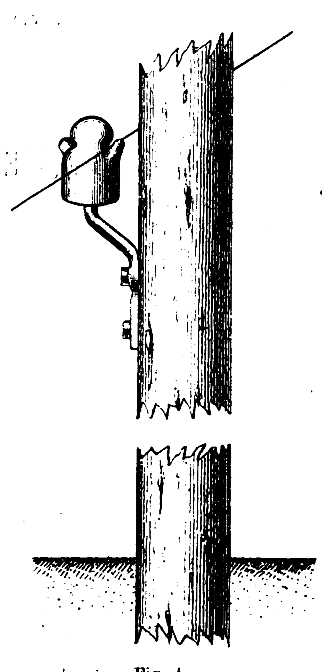


Fig. 1.

Il n'est même pas nécessaire de supposer qu'il pleuve. Sur un chemin de fer, aussi bien que sur une route, le vent si faible qu'il soit, soulève toujours à de grandes hauteurs des quantités considérables de poussières ténues, qui se déposent sur les isolateurs et les poteaux, de telle sorte que même par un temps sec la surface externe de l'isolateur et le poteau doivent être considérés comme de véritables conducteurs.

Ce sont à la vérité des conducteurs de grande ré-

sistance électrique; mais comme c'est le produit de la résistance extérieure par la capacité qui intervient dans les phénomènes de variation de charge, et comme la capacité d'un isolateur est de l'ordre des 10^{-10}, on peut les considérer comme suffisamment conducteurs pour que, au moins dans le cas des courants relativement lents dont on se sert dans les mesures de charge et de décharge, le rôle des isolateurs soit sensiblement le même par tous les temps, au point de vue de la capacité.

Nous avons donc, dans une ligne à simple fil, d'une part la capacité uniforme du fil, d'autre part une série de petits condensateurs en dérivation au sol; ces condensateurs étant d'ailleurs assez nombreux pour qu'on puisse en dernière analyse, considérer leur effet comme égal à celui d'une capacité uniforme qui s'ajouterait purement et simplement à celle du fil.

Dans le cas d'une ligne à double fil, les deux fils étant séparés par deux isolateurs dont les consoles doivent être considérées comme électriquement réunies, on voit immédiatement que l'effet est le même que celui de deux condensateurs embrochés et par conséquent que la capacité intercalée en dérivation est égale à la moitié de la capacité d'un isolateur.

II. — C'est au Congrès International des Électriciens de 1889 que, des conversations avec différents ingénieurs d'administrations étrangères nous ayant convaincu de la discordance entre les chiffres théoriques et les chiffres expérimentaux, cette explication s'est présentée pour la première fois à notre esprit.

Elle nous a semblé tellement rationnelle que nous avons résolu d'avoir immédiatement une certitude sur ce point. Un seul élément restait douteux : la capacité

d'un isolateur est-elle assez grande pour combler, même partiellement, l'écart constaté.

Nous n'avions sous la main à ce moment qu'un isolateur de lignes téléphoniques, à simple cloche. La mesure de sa capacité, faite au moyen d'une pile de 300 éléments Callaud, grand modèle, nous a donné comme valeur de la capacité de cet isolateur le chiffre $2,12 \times 10^{-10}$, soit environ 2 dix-millièmes de microfarad. Cette expérience date du 17 août 1889.

Considérant que dans les isolateurs de grande ligne, si l'isolateur est plus grand, la console croit, elle aussi, en proportion, et que par suite la capacité du système doit rester sensiblement la même, nous avons admis en nombre rond le chiffre 2×10^{-10}.

En supposant une ligne de quatorze poteaux au kilomètre, en fils de 4 millimètres, à 5 ou 6 mètres du sol, nous aurons :

Capacité kilométrique	du fil (théorique)	0♀,0066
Id.	due aux isolateurs.	0♀,0028
Id.	Totale.	0♀,0094

et nous arrivions ainsi sensiblement au chiffre expérimental du centième de microfarad.

D'autres phénomènes ayant ensuite attiré notre attention, nous n'avons pas cru devoir pousser plus loin ces expériences, convaincu d'ailleurs que l'idée du rôle des isolateurs viendrait naurellement à l'esprit de tous les électriciens.

III. — Les résultats des expériences de M. Massin (*) nous fournissent une confirmation de nos idées. Cet ingénieur a en effet constaté que les chiffres donnés par l'expérience pour les capacités kilométriques étaient

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVII, 1890, p. 499, et t. XIX, 1891, p. 338.

d'autant plus élevés que le temps était plus humide. Voici par exemple les résultats qu'il donne pour une ligne d'environ 50 kilomètres, composée de deux fils de cuivre de $2^{mm},5$ de diamètre.

Les constantes sont :

Résistance kilométrique			$5^{\omega},51$
Isolement	Id.	(fil 1)	$8\Omega,0$
Id.	Id.	(fil 2)	$9\Omega,5$

Les chiffres trouvés pour les capacités sont :

	Fil 1. — Terre.	Fil 2. — Terre.	Fil 1. — Fil 2.
1er jour humide. . .	95×10^{-10}	106×10^{-10}	72×10^{-10}
2e jour plus sec. . .	89×10^{-10}	95×10^{-10}	65×10^{-10}

Si la capacité des isolateurs intervient sensiblement dans le chiffre de la capacité kilométrique, il est évident que ce chiffre doit être plus élevé lorsque le temps humide rend toute la surface franchement conductrice que lorsque le temps étant sec, il n'y a sur cette surface qu'une sorte de réseau de poussières conductrices.

Les chiffres de M. Massin fournissent de ce fait une vérification qualitative très nette ; la vérification quantitative est moins bonne. Pour qu'elle fût bonne, il faudrait que les chiffres 72×10^{-10} et 65×10^{-10} fussent légèrement modifiés, de telle sorte que leur différence se réduisit à 4×10^{-10}.

Cette objection est de pure forme, car pour qu'elle fût valable, il faudrait pouvoir compter d'une façon absolue à moins d'une unité près sur le chiffre de 10^{-10} dans les expériences de M. Massin.

IV. — Ces considérations nous paraissent établir avec certitude l'influence des isolateurs sur la capacité des fils télégraphiques ; mais, la note de M. Vaschy nous ayant montré que l'idée de cette influence ne paraissait pas être venue à l'esprit de savants très

compétents, nous lui avons communiqué les résultats qui viennent d'être mentionnés, et il a bien voulu nous indiquer un programme complet d'expériences et nous engager à en faire connaître le résultat aux lecteurs des *Annales*.

Nous n'avons malheureusement pas en notre possession le matériel assez étudié qu'il faut pour exécuter le programme de M. Vaschy et nous avons dû (*) nous restreindre à quelques expériences qui nous paraissent suffisamment concluantes, sinon pour avoir immédiatement le chiffre exact de l'augmentation de capacité due aux isolateurs, du moins pour affirmer que l'effet produit est bien de l'ordre de celui que nous avions trouvé en 1889.

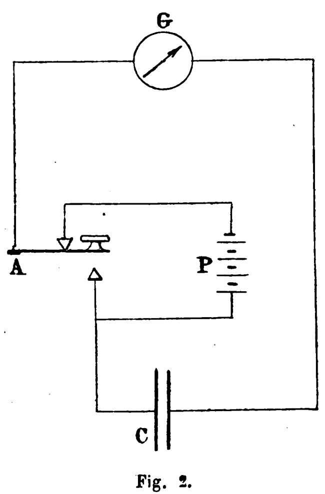


Fig. 2.

L'installation expérimentale adoptée était celle représentée par la *fig.* 2. Une clef à décharge A met en circuit, selon qu'on place le levier sur l'un ou l'autre des butoirs, le condensateur C et le galvanomètre G seuls, ou le condensateur, le galvanomètre et la pile P.

Cette méthode, équivalente à la méthode ordinaire de mesure des capa-

(*) N'ayant pas à notre disposition de galvanomètre suffisamment sensible, nous avons dû nous adresser à la Compagnie Française du Télégraphe de Paris à New-York ; nous tenons à exprimer à M. Chastenet-de Préfort, directeur à Brest, et M. Strubel, ingénieur de cette compagnie, nos vifs remerciements du concours très effectif qu'ils nous ont prêté en cette circonstance. E. B.

cités par comparaison, lorsqu'il s'agit de condensateurs ordinaires à fort isolement et capacité normale, lui a été préférée dans le cas qui nous occupe pour la raison suivante : la capacité d'un isolateur est de l'ordre des 10^{-10}, son isolement, lorsqu'il est bon, il est de l'ordre des 10^{10}. Le produit de ces deux quantités est de l'ordre des unités, tandis que dans un étalon, même de un centième de microfarad, il atteint plusieurs milliers.

Dans le cas qui nous occupe, il y a donc lieu de craindre des déperditions pendant le temps que met, dans la méthode ordinaire, la clef de décharge à aller du butoir relié au pôle de la pile, jusqu'au butoir relié à la borne du galvanomètre ; et de plus, il paraît très difficile de tenir compte par le calcul des perturbations apportées de ce fait. Dans la disposition adoptée, au contraire, les deux armatures du condensateur étant au même potentiel, si l'on met la clef sur le butoir de charge, on reçoit dans le galvanomètre toutes les quantités d'électricité qui se produisent.

La faiblesse des capacités mesurées obligeant à l'emploi de fortes piles et de galvanomètres très sensibles, l'équipage ne revient pas au zéro, mais accuse une déviation permanente, d'ailleurs très fixe, due au courant qui traverse l'isolateur. L'élongation de charge est donc produite par deux phénomènes qui se superposent : d'une part la charge de l'isolateur, d'autre part l'oscillation provoquée par le passage du courant permanent. Les capacités ne seront par suite plus proportionnelles aux élongations, mais, si l'on remarque que la selfinduction du circuit est absolument négligeable en raison de son énorme résistance, les résultats s'interprètent assez aisément, comme nous le verrons plus loin.

Le galvanomètre employé était un excellent astatique Thomson, d'Elliot frères, de 8000 ohms environ de résistance, et accusant une déviation de 123 divisions sur l'échelle pour un courant permanent égal à un dixième de microampère.

La pile était composée de 121 éléments Minotto groupés en série. Leur résistance était négligeable en présence de celle des isolateurs ou du condensateur de comparaison.

Ce condensateur de comparaison était un étalon de 1 microfarad, divisible par millièmes. Nous avons comparé la capacité de 0,333 pris dans ce condensateur à celle du tiers de microfarad étalon du service des Câbles Sous-Marins à Brest, et trouvé ces deux capacités identiques. Il ne nous a pas semblé nécessaire de faire une vérification plus complète de cet étalon et nous avons pris comme point de comparaison le condensateur de $\frac{1}{1000}$ de microfarad.

Quant aux isolateurs, c'étaient des isolateurs double cloche de grandes lignes, modèle de l'administration française des télégraphes, scellés sur consoles courtes. Ces isolateurs étaient propres. Nous avons essayé en vain de mesurer la capacité d'un isolateur plongé dans l'eau et rempli d'eau ; il faut, pour éviter les dérivations dans ce cas, des soins extrêmes et une installation spéciale que nous n'avons pu improviser.

Nous avons dû nous contenter par suite de mesurer un minimum de capacité, celle du fil par rapport à la console, l'isolateur étant sec. Pour arriver à nous faire idée des différences qui peuvent exister à ce point de vue entre divers isolateurs pris au hasard, nous avions pris un fil de cuivre de 2 millimètres, qui faisait une

fois le tour de chacune des gorges d'isolateurs, puis était tendu de façon à les maintenir suspendus et ne se touchant pas (*fig.* 3), et à rester isolé. Ce fil consti-

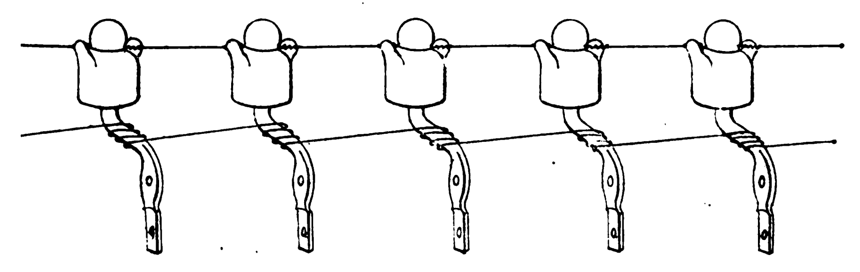


Fig. 3.

tuait l'une des armatures du condensateur. Pour constituer l'autre armature, on prenait un fil de cuivre quelconque dont on se servait pour entourer d'abord la console de l'un des isolateurs, puis les consoles des deux premiers, puis des trois, puis des quatre premiers, enfin des cinq isolateurs.

On avait ainsi 1, 2, 3, 4 puis 5 isolateurs groupés en quantité et dont les capacités s'ajoutaient par suite. Le simple enroulement serré du fil de cuivre autour de la console, donnait un contact suffisant pour de telles mesures où la résistance du contact peut aller sans inconvénient à quelques ohms. Une fois l'expérience faite avec les isolateurs secs, on les a frottés avec un linge légèrement humide, de façon à avoir un cas qui se rapproche beaucoup plus de la réalité que celui des isolateurs secs.

On a ainsi obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant où on a porté, dans la première colonne le condensateur en expérience, dans la deuxième colonne la division initiale, dans la troisième la division extrême après la première impulsion, dans la qua-

trième la division finale, dans la cinquième l'impulsion α, dans la sixième la déviation permanente δ, dans la septième la différence $\alpha - \delta$ et dans la huitième un numéro d'ordre.

1	2	3	4	α	δ	$\alpha-\delta$	Nos
Étalon de 10^{-9}	154	72	146	82	8	74	1
1 isolateur sec.	154	120	138	34	16	18	2
2 isolateurs secs.	154	110	134	44	20	24	3
3 id. id.	154	84	117	70	37	33	4
4 id. id.	154	53	101	101	53	48	5
5 id. id.	154	33	90	121	64	57	6
5 id. humides.	155	−118	35	273	120	153	7

L'examen de la colonne δ montre que les isolements étaient bons, puisque le plus faible, celui de l'expérience n° 7, atteignait $\frac{160\,000}{120} = 1333\,\Omega$, soit environ $6700\,\Omega$ par isolateur; l'isolement du condensateur arrivait à $20\,000\,\Omega$, ce qui prouve que l'installation tout entière était bien isolée. Mais on voit aussi que l'isolement varie très irrégulièrement avec les isolateurs. Il faut donc s'attendre à un phénomène analogue pour la capacité et rechercher surtout une valeur moyenne.

V. — La comparaison des colonnes α et δ montre que les formules habituellement employées ne sont pas applicables.

Il faut donc reprendre la théorie du galvanomètre balistique. Mais comme les formules très simples que l'on déduit dans les cas particuliers dérivent de calculs assez longs, nous donnerons immédiatement ces formules et les résultats qui en découlent, en renvoyant le détail des calculs à la fin de notre note.

Dans le cas où la déviation permanente δ est faible par rapport à l'impulsion α, la vitesse angulaire ini-

tiale ω de l'équipage du galvanomètre, qui est proportionnelle à la capacité, est donnée par la formule

$$\omega = 1{,}0272\,\alpha - 0{,}84\,\delta.$$

Nous en déduisons pour le cas du condensateur étalon

$$\omega = 77{,}3.$$

Dans le cas où α et δ sont des nombres voisins, on a au contraire

$$\omega = \frac{11}{8}\alpha - 1{,}73\,\delta.$$

Appliquons cette formule à nos expériences ; nous pourrons former le tableau suivant :

	α	δ	ε	ω
1 isolateur sec.	34	16	+0,0633	19,2
2 isolateurs secs.	44	20	+0,1	26,0
3 id. id..	70	37	−0,054	32,2
4 id. id..	101	53	−0,047	47,2
5 id. id..	1 1	64	−0,054	55,7
5 id. humides	273	120	+0,137	168,0

Ces chiffres nous servent de base à un calcul d'approximations successives et nous arrivons finalement aux valeurs suivantes des ω.

<table>
<tr><th rowspan="3"></th><th rowspan="3">ω</th><th colspan="3">CAPACITÉS x^{iès} 10¹⁰</th></tr>
<tr><th rowspan="2">totales</th><th colspan="2">PAR ISOLATEUR</th></tr>
<tr><th>successives</th><th>moyennes</th></tr>
<tr><td>Condensateur étalon.</td><td>77</td><td>10</td><td>»</td><td></td></tr>
<tr><td>1 isolateur sec</td><td>18,8</td><td>2,4</td><td>»</td><td></td></tr>
<tr><td>2 isolateurs secs</td><td>25,5</td><td>3,3</td><td>0,9</td><td rowspan="4">1,2</td></tr>
<tr><td>3 id. id.</td><td>32,1</td><td>4,2</td><td>0,9</td></tr>
<tr><td>4 id. id.</td><td>47,0</td><td>6,1</td><td>1,9</td></tr>
<tr><td>5 id. id.</td><td>55,4</td><td>7,2</td><td>1,1</td></tr>
<tr><td>5 id. humides.</td><td>165,0</td><td>21,5</td><td>»</td><td>4,3</td></tr>
</table>

Les capacités se déduisent immédiatement des ω

auxquelles elles sont proportionnelles par la formule

$$C = \frac{\omega}{77} \times 10^{-9}.$$

C'est ainsi qu'on a calculé les capacités portées dans la troisième colonne en les exprimant en dix-millièmes de microfarad pour simplifier l'écriture.

Dans la dernière colonne, on a porté les capacités successives des isolateurs secs, obtenues par différence, puis la moyenne des quatre isolateurs secs et des cinq isolateurs mouillés.

Pour faire la moyenne des isolateurs secs, on a laissé de côté le premier. Il est en effet vraisemblable que les fils de secours, et en un mot, l'ensemble de l'installation, avaient une certaine capacité non négligeable, ce qui a pour résultat d'élever un peu le chiffre correspondant à un seul isolateur. Cet effet restant d'ailleurs le même à mesure que l'on ajoutait des isolateurs, la capacité du second, du troisième, du quatrième et du cinquième n'en est pas affectée.

Nous allons maintenant exposer la série des calculs par lesquels nous sommes arrivés à ces résultats, réservant nos conclusions pour un dernier paragraphe.

VI. — L'équation du mouvement du système astatique d'un galvanomètre est de la forme

$$A \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2B \frac{d\theta}{dt} + C\theta = Di, \tag{1}$$

θ étant l'angle dont a dévié le système à l'instant t, i l'intensité qui traverse les bobines, quelle que soit la source d'énergie extérieure (pile, induction par les mouvements de l'aimant, etc.) et A, B, C, D des constantes qu'on peut calculer d'après la construction matérielle du galvanomètre.

Nous allons séparer le phénomène qui se passe quand on porte la clef A sur le butoir de charge (*fig.* 2) en deux phases bien distinctes.

Le condensateur se charge pendant un temps excessivement court ; la résistance du galvanomètre étant de 8.000ω et la capacité de 10^{-9} par exemple, la charge est complète à moins de $\frac{1}{100000}$ de sa valeur, au bout d'un temps inférieur à $\frac{1}{10000}$ de seconde. Pendant ce temps, le système astatique ne s'est pas déplacé d'une quantité appréciable, et par suite nous aurons, en intégrant l'équation (1) entre *o* et $t_0 = \frac{1}{10000}$.

$$(2) \qquad A\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_0^{t_0} + 2B\,\theta_{t_0} + C\int_0^{t_0}\theta\,dt = D\int_0^{t_0} i\,dt.$$

Or $\dfrac{d\theta}{dt}$ est la vitesse angulaire du système qui est nulle au temps *o* et que nous désignerons par ω au temps t_0 ; θ_{t_0} est inappréciable comme nous venons de le voir, et $\int_0^{t_0}\theta dt$ est également inappréciable ; en effet, le temps t_0 étant excessivement faible ; nous aurons

$$\int_0^{t_0}\theta\,dt = \theta t_0,$$

Or, nous venons de négliger θ, *a fortiori* devons nous négliger θt_0 qui est beaucoup plus petit. Enfin $\int_0^{t_0} i dt$, c'est précisément la quantité d'électricité q, produit de la capacité du condensateur par la différence de potentiel aux bornes. Nous aurons donc

$$(2') \qquad A\omega = Dq$$

et nous voyons que l'effet de la charge est de donner au système astatique, en un temps inappréciable, une

vitesse angulaire égale à

$$(2'') \qquad \omega = \frac{D}{A} q.$$

Une fois ce premier effet produit, il ne passe plus dans le galvanomètre que le courant de conduction, qui est constant, et les courants induits par le mouvement de l'équipage. Or, le coefficient de selfinduction du Thomson est faible, et la résistance du circuit est considérable puisque le galvanomètre n'est pas shunté. Il en résulte que ces courants induits sont absolument négligeables, et qu'on peut admettre que le galvanomètre est simplement parcouru par un courant constant d'intensité i.

Posons alors

$$(3) \qquad \begin{cases} B = A\beta, \\ C = Am^2, \\ D = A\lambda. \end{cases}$$

Nos équations fondamentales deviendront

$$(1') \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\beta \frac{d\theta}{dt} + m^2\theta = \lambda i,$$

$$(2''') \qquad \omega = \lambda q.$$

L'intégrale générale de l'équation (1') est bien connue ; dans le cas du Thomson, qui n'est pas apériodique, elle peut s'écrire

$$(4) \quad \theta = \frac{\lambda i}{m^2} + e^{-\beta t}\left[P \sin \sqrt{m^2 - \beta^2 t} + Q \cos \sqrt{m^2 - \beta^2 t}\right].$$

P et Q étant des constantes qui seront déterminées par les conditions initiales du problème.

Pour $t = \infty$, nous avons

$$\theta = \frac{\lambda i}{m^2}.$$

Or, nous avons appelé δ la déviation permanente.

Nous aurons donc

$$\delta = \frac{\lambda i}{m^2} \tag{5}$$

et si nous posons, pour simplifier l'écriture,

$$\varphi = \sqrt{m^2 - \beta^2}, \tag{6}$$

la valeur de θ deviendra

$$\theta = \delta + e^{-\beta t}[P \sin \varphi t + Q \cos \varphi t]. \tag{4'}$$

Les conditions initiales s'écrivent immédiatement. De l'étude de la première phase résulte en effet immédiatement qu'au temps $t = 0$, on doit avoir

$$\left\{ \begin{aligned} \theta_0 &= 0, \\ \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_0 &= \omega, \end{aligned} \right. \tag{7}$$

ce qui donne

$$\left\{ \begin{aligned} 0 &= Q + \delta, \\ \omega &= P\varphi - \beta Q. \end{aligned} \right. \tag{7'}$$

On tire de là les valeurs des paramètres

$$\left\{ \begin{aligned} Q &= -\delta, \\ P &= \frac{\omega - \beta\delta}{\varphi}, \end{aligned} \right. \tag{8}$$

et en remplaçant dans la valeur de θ, il vient définitivement

$$\theta = \delta + e^{-\beta t}\left(\frac{\omega - \beta\delta}{\varphi} \sin \varphi t - \delta \cos \varphi t\right). \tag{4''}$$

Nous aurons la valeur de l'élongation α en déterminant le moment t_1 où la vitesse angulaire $\frac{d\theta}{dt}$ l'annule pour la première fois. Or

$$\frac{d\theta}{dt} = e^{-\beta t}\left(\frac{m^2\delta - \beta\omega}{\varphi} \sin \varphi t + \omega \cos \varphi t\right).$$

Le temps t_1 sera donné par suite par l'équation

$$(9) \quad \frac{\sin \varphi t_1}{\omega} = \frac{\cos \varphi t_1}{\frac{\beta\omega - m^2\delta}{\varphi}} = \frac{1}{\frac{m}{\varphi}\sqrt{\omega^2 - 2\,\omega\beta\delta + m^2\delta^2}},$$

et l'on aura

$$(10) \qquad \alpha = \delta + e^{-\beta t_1}\,\frac{\sqrt{\omega^2 - 2\,\omega\beta\delta + m^2\delta^2}}{m}.$$

Le problème est résolu ; en effet, de la comparaison des valeurs de δ et de $\alpha - \delta$, on tire une première valeur approximative t'_1 de t_1 en remarquant, d'après l'équation (9) que, pour $q = 0$, on a $\omega = 0$ et par suite $\varphi\, t_1 = \pi$, et que pour $i = 0$ et par suite $\delta = 0$, on a

$$\left\{\begin{aligned} \sin \varphi t_1 &= \frac{\varphi}{m}, \\ \cos \varphi t_1 &= \frac{\beta}{m}. \end{aligned}\right.$$

On porte cette première valeur de t_1 dans l'équation (10) que l'on peut écrire

$$(10') \qquad m(\alpha - \delta)e^{\beta t_1} = \sqrt{(\omega - \beta\delta)^2 + \delta^2\varphi^2},$$

ou encore

$$(10'') \qquad \omega = \beta\delta + \sqrt{m^2(\alpha - \delta)^2 e^{2\beta t_1} - \delta^2\varphi^2}.$$

et on en tire une première valeur ω' de ω, que l'on porte dans l'équation (9). On en tire une valeur t''_1 plus approchée que la première valeur que l'on porte dans l'équation (10″) et l'on continue ainsi jusqu'à ce qu'on ait ω avec une approximation suffisante.

En désignant par ω la valeur obtenue pour le condensateur essayé, par ω' celle obtenue pour le condensateur étalon, par c et c' les capacités, nous aurons d'après (2‴)

$$(11) \qquad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{\lambda q}{\lambda q'} = \frac{\lambda c \mathrm{E}}{\lambda c' \mathrm{E}} = \frac{c}{c'},$$

Donc

$$(11') \qquad c = c' \frac{\omega}{\omega'}.$$

Pour faire ces calculs, il faut connaître les quantités β et m spécifiques du galvanomètre employé ; le paramètre λ disparaissant dans le résultat final, il n'est pas besoin de le déterminer.

Remarquons d'abord que le mouvement est périodique amorti, d'après l'équation (4″), et que si T désigne la période, cette équation donne immédiatement

$$(12) \qquad \frac{2\pi}{T} = \varphi$$

$$(12') \qquad m^2 - \beta^2 = \frac{4\pi^2}{T^2}.$$

Pour le galvanomètre dont nous nous sommes servis, nous avons constaté que les oscillations étaient bien isochrones et que leur période T était égale à 8 secondes.

D'autre part, la considération de l'équation (10) nous montre que les élongations successives α, α', α''... qui correspondent aux temps t_1, $t_1 + \frac{T}{2}$, $t_1 + T$,... sont liées par la relation

$$(13) \quad (\alpha - \delta)e^{\beta t_1} = (\alpha' - \delta)\, e^{\beta\left(t_1 + \frac{T}{2}\right)} = (\alpha'' - \delta)e^{\beta(t_1 + T)} = ...$$

que l'on peut écrire :

$$(13') \qquad \frac{\alpha - \delta}{\alpha' - \delta} = \frac{\alpha' - \delta}{\alpha'' - \delta} = ... = e^{\beta \frac{T}{2}}.$$

Or, rien n'est plus facile que de mesurer les élongations successives.

Si nous désignons par ρ ce rapport, nous aurons :

$$(14) \qquad e^{\beta \frac{T}{2}} = \rho,$$

d'où

$$\beta = \frac{2}{T} L \rho. \tag{14'}$$

Dans nos expériences, nous avons vérifié que le rapport ρ était bien constant pour cinq oscillations successives, et que sa valeur était de 1,75.

On déduit de là le système de valeurs suivantes :

$$(15) \quad \left\{ \begin{aligned} \varphi &= \frac{\pi}{4} = 0{,}785, \\ \beta &= \frac{1}{4} L 1{,}75 = \frac{1}{7}, \\ m^2 &= \beta^2 + \varphi^2 = 0{,}64, \\ m &= 0{,}8. \end{aligned} \right.$$

Mais, au lieu d'employer dès l'abord la méthode des approximations successives, nous allons examiner deux cas particuliers intéressants.

VII. Le premier est celui où la déviation δ n'est qu'une faible fraction de l'élongation α, ce qui est le cas du condensateur étalon par exemple.

Posons, pour fixer les idées :

$$\delta = \alpha\varepsilon \tag{16}$$

et convenons de négliger ε devant l'unité.

Si nous avions $\varepsilon = 0$, la valeur de t_1 serait donnée par les équations :

$$(17) \quad \left\{ \begin{aligned} &\sin \varphi t_1 = \frac{\varphi}{m} = 0{,}981, \\ &\cos \varphi t_1 = \frac{m}{\beta} > 0, \\ &\text{d'où } t_1 = 1{,}75. \end{aligned} \right.$$

La présence de la déviation δ est de faire changer légèrement la valeur de t_1, qui deviendra par exemple $t_1 + \tau$, et nous supposerons la variation assez petite pour pouvoir négliger τ^2 devant l'unité.

L'équation (10″) deviendra alors :

$$(18) \qquad \omega = \beta\alpha\varepsilon + \sqrt{m^2\alpha^2(1-2\varepsilon)e^{2\beta t_1}(1+2\beta\tau) - \varphi^2\alpha^2\varepsilon^2}.$$

Il est facile de voir que le terme soustractif disparaît.

En effet, $\varphi^2 = 0{,}62$, $m^2 e^{2\beta t_1} = 1{,}06$, par conséquent le terme $0{,}62\,\alpha^2\varepsilon^2$ est négligeable devant le terme $1{,}06\,\alpha^2$, puisque ε^2 est négligeable devant l'unité. L'équation se simplifie alors et devient :

$$(18') \qquad \omega = \beta\alpha\varepsilon + m\alpha e^{\beta t_1}(1-\varepsilon)(1+\beta\tau);$$

ce que l'on peut écrire, en négligeant devant l'unité le produit $\beta\varepsilon\tau$:

$$(18'') \qquad \omega = m\alpha e^{\beta t_1}\left[1 + \beta\tau - \varepsilon\left(1 - \frac{\beta}{m}e^{-\beta t_1}\right)\right].$$

Nous avons d'ailleurs, d'après l'une des équations (9) :

$$(19) \qquad \sin\varphi t_1 + \varphi\tau\cos\varphi t_1 = \frac{\omega\varphi}{m\sqrt{\omega^2 - 2\omega\beta\delta + m^2\delta^2}}.$$

En remplaçant $\sin\varphi t_1$ et $\cos\varphi t_1$ par leurs valeurs (18) et négligeant les termes en ε^2, il vient :

$$(19') \qquad 1 + \beta\tau = \frac{\omega}{\omega\left(1 - \frac{\beta\alpha\varepsilon}{\omega}\right)} = 1 + \frac{\beta\alpha\varepsilon}{\omega}.$$

Substituant cette valeur dans l'équation (18″), il viendra :

$$(18''') \qquad \omega = m\alpha e^{\beta t_1}\left[1 + \frac{\beta\alpha\varepsilon}{\omega} - \varepsilon\left(1 - \frac{\beta}{m}e^{-\beta t_1}\right)\right].$$

Le terme en ω dans le second membre n'étant qu'un terme correctif, nous pourrons y remplacer ω par sa valeur approchée $m\alpha e^{\beta t_1}$, et nous obtiendrons :

$$(18^{\text{IV}}) \qquad \omega = m\alpha e^{\beta t_1}\left[1 - \varepsilon\left(1 - \frac{2\beta}{m}e^{\beta t_1}\right)\right],$$

ce que l'on peut écrire, en tenant compte de (16) :

$$(18') \qquad \omega = m\alpha e^{\beta t_1} - \delta(me^{\beta t_1} - 2\beta).$$

Si nous remplaçons m et β par leurs valeurs (15), et t_1 par sa valeur (17), nous aurons finalement, pour le galvanomètre considéré, et dans tous les cas où la déviation permanente sera faible par rapport à l'élongation ; la valeur de ω par l'expression :

$$(20) \qquad \omega = 1,0272\alpha - 0,84\delta.$$

Si nous appliquons cette formule au cas du condensateur étalon, nous devons faire

$$\alpha = 82,$$
$$\delta = 8,$$

et nous aurons par suite

$$\omega = 77,5.$$

Il est facile du reste de vérifier que dans ce cas ou $\varepsilon < \frac{1}{10}$, il était légitime de négliger tout ce qui a été négligé et que par suite l'erreur sur ω n'est que de quelques centièmes. Nous sommes donc certains que l'on a

$$\omega \leq 78.$$

Nous prendrons pour ω cette limite supérieure parce que, cette valeur entrant en dénominateur dans la formule (11') nous ne pouvons, en forçant, qu'atténuer le phénomène dont nous nous proposons de montrer l'importance.

VIII. Considérons maintenant le cas, non moins intéressant, où l'élongation α est voisine du double de la déviation permanente δ, et posons, pour fixer les idées

$$(21) \qquad \alpha = 2\delta(1 + \varepsilon).$$

Ce cas étant un peu plus difficile à traiter que le précédent, nous supposerons avoir à faire au galvanomètre que nous avons employé, et remplacerons les paramètres par leurs valeurs numériques chaque fois que cela pourra simplifier l'exposition.

Un simple coup d'œil porte à croire que, dans le cas considéré, la valeur numérique de ω doit être voisine de celle de $\alpha - \delta$, ou, ce qui revient au même, de δ. Afin de voir jusqu'à quel point cette hypothèse s'approche de la réalité, nous allons supposer $\omega = \delta$ et chercher quelle relation cette égalité entraîne entre α et δ.

Les équations (9) donnent dans ce cas

$$(22)\quad \begin{cases} \sin \varphi t'_1 = \dfrac{\varphi}{m\sqrt{1 - 2\beta + m^2}}, \\ \cos \varphi t'_1 = \dfrac{\beta - m^2}{m\sqrt{1 - 2\beta + m^2}}. \end{cases}$$

En remplaçant par les valeurs numériques, on tire de là

$$(23)\quad t'_1 = 2,715,$$

Si alors nous reportons cette valeur de t_1 dans l'équation (10) en tenant compte de la condition $\omega = \delta$, il viendra

$$(24)\quad \alpha = \delta\left(1 + \frac{e^{-\beta t'_1}}{m}\sqrt{1 - 2\beta + m^2}\right),$$

ou, en valeur numérique,

$$(24')\quad \alpha = \delta \times 1,985.$$

soit, à $\frac{1}{75}$ près

$$(24'')\quad \alpha = 2\delta.$$

Ainsi en supposant $\omega = \delta$, nous retombons précisé-

ment sur la condition $\alpha = 2\delta$, et dans le cas, que nous examinons, de la condition (21), nous pourrons supposer que l'on a

$$(25) \qquad \begin{cases} \omega = \delta(1-h), \\ t_1 = t'_1 + \tau, \end{cases}$$

Où t^1, est la valeur (23) et où h et τ sont des quantités assez petites pour qu'on puisse négliger h^2 devant l'unité et poser $\cos\varphi\tau = 1$.

Nous avons d'ailleurs

$$\cos\varphi\tau = 1 - \frac{\varphi^2\tau^2}{2} + \cdots$$

pour que l'on puisse poser $\cos\varphi\tau = 1$ à $\frac{1}{50}$ près par exemple, approximation qui nous suffit largement, en raison des inégalités de capacité des divers isolateurs, il suffit que

$$\frac{\varphi^2\tau^2}{2} < \frac{1}{50},$$

ou

$$\tau^2 < \frac{1}{25\varphi^2}.$$

Il suffit donc que l'on ait

$$\tau < \frac{1}{5\varphi}$$

ou, en définitive

$$\tau \leq \frac{1}{4}.$$

Nous aurons alors

$$(26) \quad \sin\varphi t'_1 + \varphi\tau\cos\varphi t'_1 = \frac{\varphi(1-h)}{m\sqrt{(1-h)^2 - 2\beta(1-h) + m^2}}.$$

ou, en remplaçant $\sin\varphi t'_1$ et $\cos\varphi t'_1$ par leurs valeurs (22), négligeant h^2 devant l'unité, et effectuant les ré-

ductions de termes semblables,

$$(27)\qquad \tau = \frac{h}{1 - 2\beta + m^2},$$

Comme on a ici

$$1 - 2\beta + m^2 = 1{,}35;$$

il suffira, pour que l'erreur sur le temps t_1 reste dans les limites fixées, que l'on ait

$$\frac{h}{1{,}35} \leq \frac{1}{4}$$

ou

$$h \leq \frac{1}{3}.$$

La condition relative à τ sera donc toujours remplie puisque nous avons supposé h^2 négligeable devant 1. Substituons maintenant cette valeur de t_1 dans l'équation (10′) ; il viendra

$$(28)\quad m(\alpha-\delta)e^{\beta t'_1}e^{\beta\tau} = \delta\sqrt{(1-2\beta+m^2)\left[1-\frac{2h(1-\beta)}{1-2\beta+m^2}\right]}.$$

Nous avons d'ailleurs

$$e^{\beta\tau} = 1 + \beta\tau + \frac{\beta^2\tau^2}{2} + \cdots$$

et, comme nous avons $\tau \leq \frac{1}{4}$, et par suite

$$\frac{\beta^2\tau^2}{2} < \frac{1}{1600},$$

nous pouvons écrire

$$e^{\beta\tau} = 1 + \beta\tau,$$

et par suite

$$(28')\quad m(\alpha-\delta)e^{\beta t'_1}(1+\beta\tau) = \delta\left(1 - h\frac{1-\beta}{1-2\beta+m^2}\right)\sqrt{\frac{2}{1-\beta+m^2}}.$$

Remplaçons τ et $\alpha - \delta$ par leurs valeurs, il viendra

$$(29'')\quad \frac{m e^{\beta t'_1}}{\sqrt{1-2\beta+m^2}}\left(1+2\varepsilon+\frac{\beta h}{1-2\beta+m^2}\right) = 1 - h\frac{1-\beta}{1-2\beta+m^2}.$$

En valeur numérique, nous aurons

$$(29) \qquad 1{,}015\left(1 + 2\varepsilon + \frac{\beta h}{1{,}35}\right) = 1 - h\,\frac{1-\beta}{1{,}35}.$$

ce qui donne comme valeur finale

$$(29') \qquad h = -\,0{,}02 - \frac{11}{4}\varepsilon,$$

et par conséquent

$$(30) \qquad \omega = \delta\left(1{,}02 + \frac{11}{4}\varepsilon\right).$$

Il faut vérifier, avant d'appliquer la formule (30), que les opérations accomplies sont bien légitimes. Si nous voulons par exemple que l'on ait

$$h^2 < \frac{1}{50}$$

pour pouvoir le négliger devant l'unité, il faut que l'on ait

$$h < \frac{1}{7} \text{ en valeur absolue,}$$

ou

$$\varepsilon < \frac{1}{20}$$

environ, en valeur absolue; dans ces conditions $2\beta h\varepsilon$ est négligeable devant l'unité et nous aurons ω sans erreur considérable.

Supposons même que l'on ait

$$\varepsilon = \frac{1}{10}.$$

Il en résultera

$$h = -\,0{,}3,$$

et par suite

$$h^2 = 0{,}09.$$

On commettra donc une erreur inférieure à $\frac{1}{18}$ en

remplaçant dans l'équation (26) $(1-h)^2$ par $1-2h$. Nous considérerons cette erreur comme admissible pour des raisons que nous avons indiquées plus haut.

En appliquant ces formules, on arrive pour les isolateurs aux valeurs consignées dans le tableau que nous avons donné au paragraphe V.

IX. Ces valeurs de ω sont probablement assez approchées pour les conclusions que nous voulons en tirer. Cependant, afin d'être fixé sur leur degré d'approximation, et pour éviter toute objection de ce côté, nous allons appliquer le système d'approximations successives indiqué au paragraphe VI. Le résultat est consigné dans le tableau ci-dessous :

	ω'	t''_1	ω''	LIMITE de l'erreur relative	VALEURS adoptées	CAPACITÉS $x\,10^{10}$ totales	CAPACITÉS $x\,10^{10}$ par isolateur	
Condensateur étalon	77,3	1,74	76,8	$\frac{1}{154}$	77	10	»	
1 isolateur sec.	19,2	2,59	18,7	$\frac{1}{40}$	18,8	2,4	»	
2 isolateurs secs.	26,0	2,52	25,5	$\frac{1}{52}$	25,5	3,3	0,9	
3 id. id..	32,2	2,83	32,1	$\frac{1}{320}$	32,1	4,2	0,9	1,20
4 id. id..	47,2	2,81	47,0	$\frac{1}{235}$	47,0	6,1	1,9	
5 id. id..	55,7	2,82	55,4	$\frac{1}{186}$	55,4	7,2	1,1	
5 id. humides	168,0	2,49	164,3	$\frac{1}{44}$	16,5	21,5	4,3	

Nous avons porté dans la cinquième colonne le quotient $\frac{\omega'-\omega''}{\omega'}$ en valeur absolue, sous le titre de limite de l'erreur relative. Il est facile de montrer que ces chiffres représentent bien en effet une limite supérieure de l'erreur relative commise en prenant ω' ou ω'' pour valeur définitive de ω.

Reprenons en effet l'équation (9). Elle peut s'écrire :

$$(31)\qquad \sin \varphi t_1 = \frac{\varphi}{m\sqrt{1 - 2\beta\frac{\delta}{\omega} + m^2\frac{\delta^2}{\omega^2}}}.$$

Considérons d'abord le cas où δ est petit par rapport à α; nous avons vu que, dans ce cas ω est du même ordre que α, et par conséquent $\frac{\delta}{\omega}$ sera du même ordre que $\frac{\delta}{\alpha}$. Par suite, comme 2β est égal à 0,29 et m^2 à 0,64, pour une petite variation de ω la variation du terme $\left(-2\beta\frac{\delta}{\omega}\right)$ sera prépondérante et donnera le sens de variation du radical.

Partons alors d'une valeur ω' trop grande; le terme $\left(-2\beta\frac{\delta}{\omega}\right)$ sera trop grand, le radical sera trop grand aussi, et par suite la valeur obtenue par $\sin\varphi t_1$ sera trop petite. Mais, dans ce cas, les équations (9) montrent que l'on a

$$\cos\varphi t_1 > 0.$$

Donc φt_1 est inférieur à $\frac{\pi}{2}$ et à un sinus trop petit correspond un arc trop petit. On obtient donc une valeur trop petite de t_1 et par suite, en portant dans l'équation (10″) une valeur trop petite de ω.

Supposons au contraire que δ soit assez grand pour que le terme $\left(m^2\frac{\delta^2}{\omega^2}\right)$ devienne plus grand que le terme $\left(2\beta\frac{\delta}{\omega}\right)$. Il suffit pour cela que l'on ait :

$$\frac{\delta}{\omega} > \frac{2\beta}{m^2} \quad \text{ou} \quad \frac{\delta}{\omega} > \frac{1}{2{,}24},$$

condition remplie dans nos expériences. C'est alors le terme carré qui donne le sens de la variation du radical.

Pour ω' trop grand le radical sera trop petit et $\sin \varphi t_1$ trop grand. Mais l'équation (9) montre que l'on a alors :

$$\cos \varphi t_1 < 0.$$

Par conséquent φt_1 est plus grand que $\frac{\pi}{2}$, et à un sinus trop grand correspond un arc trop petit. Donc t_1 est trop petit et en le portant dans l'équation (10″) on obtiendra une valeur trop petite de ω.

Ainsi, dans les cas réalisés par nos expériences, le système d'approximation successives donne des valeurs alternativement plus grandes et plus petite que la valeur réelle. L'écart entre deux valeurs consécutives donne donc certainement une limite de l'erreur commise en ne poussant pas plus loin l'approximation.

Estimant suffisante l'approximation obtenue, nous avons porté dans la colonne 6 les valeurs adoptées définitivement. Ces valeurs sont celles de ω'' lorsque l'écart est faible entre ω' et ω'' et des valeurs intermédiaires, mais plus voisines de ω''_1 lorsque l'écart est sensible. Elles ont été choisies de façon à avoir un chiffre plutôt inférieur à la capacité réelle. L'écart n'est d'ailleurs pas sensible en raison du nombre de décimales que nous nous contenterons de calculer pour la capacité.

De ces valeurs on a déduit par la formule

$$(11'') \qquad C = \frac{\omega}{77} 10^{-9}.$$

les capacités qui ont été mentionnées dans le tableau

placé à la fin du paragraphe V, et dont on a déduit ensuite la capacité individuelle des isolateurs secs et la capacité moyenne des cinq isolateurs secs et humides.

X. En somme il ressort de ces expériences que les isolateurs télégraphiques en porcelaine ont une capacité notable.

Pour les isolateurs bien secs et propres, cette capacité est d'environ (*) $1{,}2 \times 10^{-10}$. Le seul fait de rendre conductrice toute la paroi externe porte la capacité à environ $4{,}3 \times 10^{-10}$.

Par conséquent, pour une ligne sur route ou sur chemin de fer, où cette paroi est toujours saupoudrée de fumée ou de poussière, chaque isolateur doit être considéré comme ayant une capacité comprise entre deux et quatre dix-millièmes de microfarad.

Ces chiffres sont d'un ordre tel qu'ils suffisent à eux seuls à rétablir la concordance entre le chiffre théorique et le résultat expérimental.

Il nous suffira d'avoir établi, d'une façon qui nous paraît incontestable, l'existence et l'importance du phénomène, et d'avoir donné, pour traiter le cas où on fait passer dans un galvanomètre une décharge courte suivie d'un courant permanent, les formules très simples (20) et (30), qui dans beaucoup de cas permettront d'avoir immédiatement des solutions très suffisamment approchées de ce problème dont la solution la plus générale est fort complexe.

E. Brylinski,
Sous-Ingénieur.

(*) Il est bon de remarquer que l'expérience, faite dans les mêmes conditions avec l'isolateur petit modèle dont nous avons parlé au début, mais par la méthode ordinaire de décharge, nous avait donné le nombre, $1{,}21 \times 10^{-10}$.

NOTE

RELATIVE

AUX CAPACITÉS DES ISOLATEURS

Dans le numéro de janvier-février 1888 des *Annales télégraphiques*, j'ai publié les résultats d'études faites sur les isolements des isolateurs principaux en usage dans l'administration, mais il n'a pas été question de leurs capacités électriques. Celles-ci jouant un rôle important dans les transmissions par les appareils rapides, et surtout dans la correspondance téléphonique, il m'a paru utile de les déterminer, ce que M. Jaulin a fait sous ma direction. La méthode employée a été celle de de Sauty, qui n'est autre que la méthode du pont

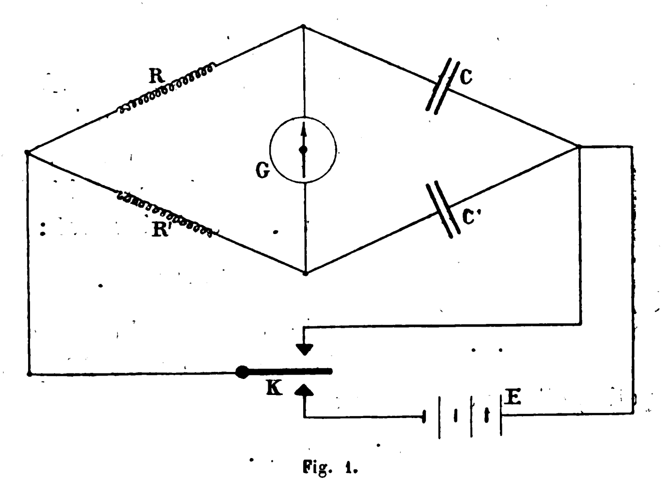


Fig. 1.

de Wheatstone pour la mesure des résistances, dans laquelle (*fig.* 1) la résistance étalon et la résistance à

mesurer sont remplacées respectivement par un condensateur étalon C, et le condensateur à mesurer C'. Lorsque le galvanomètre G reste au zéro, soit qu'on abaisse la clef K, soit qu'on la relève, on a $C' = C\frac{R}{R'}$, R et R' étant les branches du pont. Dans les essais, le condensateur C était un condensateur étalon de 1 microfarad divisé en dixièmes, et C' était remplacé par 4 isolateurs du système qu'on étudiait. R et R' étaient des résistances pouvant varier de 1 ohm à 1 mègohm. La pile E était composée soit de 4, soit de 10, soit de 100 éléments Marié-Davy.

Isolateurs à double cloche (*g. m.*) (*fig.* 2). — Les quatre isolateurs étaient fixés (*fig.* 3) sur une traverse en bois par leurs consoles, reliées ensemble au moyen d'un fil métallique de 1 millimètre; un fil de 4 millimètres entourant le col de chacun d'eux, ces deux fils constituaient les deux armatures du condensateur formé par ces 4 isolateurs. On a ainsi trouvé :

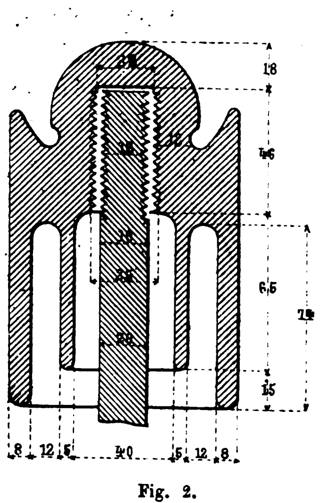


Fig. 2.

$$C' = 0{,}00028.$$

La capacité Ci de chacun d'eux étant quatre fois plus petite, elle a pour valeur :

$$Ci = 0{,}000070.$$

Si, au lieu d'avoir un fil entourant les cols des isolateurs, on renverse ceux-ci et on fait plonger leurs

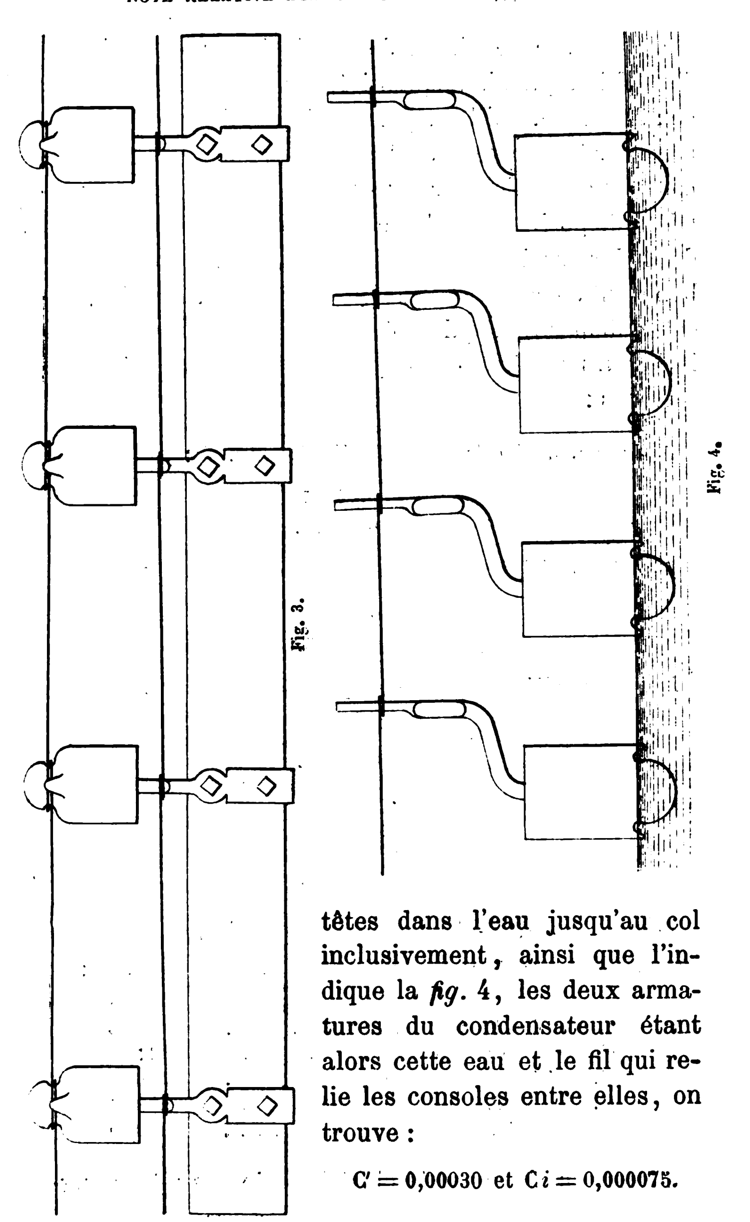


Fig. 3.

Fig. 4.

têtes dans l'eau jusqu'au col inclusivement, ainsi que l'indique la *fig.* 4, les deux armatures du condensateur étant alors cette eau et le fil qui relie les consoles entre elles, on trouve :

$$C' = 0{,}00030 \text{ et } C i = 0{,}000075.$$

Ce nombre ne diffère de celui obtenu dans l'autre disposition que d'une quantité très petite, d'ailleurs un peu douteuse, qu'il est permis de négliger, et on peut regarder les deux résultats comme égaux. On ne commet donc pas d'erreur sensible en remplaçant la première disposition par la seconde, qui offre l'avantage, dans des essais comparatifs, de procurer toujours un bon contact avec les cols des isolateurs. Aussi est-ce cette disposition qui a été adoptée pour les autres isolateurs expérimentés qui ont donné les résultats suivants :

Isolateurs à simple cloche ordinaire (fig. 5) :

$$C' = 0,00047$$
$$Ci = 0,00011.$$

Isolateurs téléphoniques à double cloche (fig. 6) :

$$C' = 0,00060$$
$$Ci = 0,00015.$$

Isolateurs téléphoniques à simple cloche (fig. 7) :

$$C' = 0,00095$$
$$Ci = 0,00023.$$

Isolateurs blindés (*fig.* 8) :

$$C' = 0,00037$$
$$Ci = 0,00009.$$

Observations. — 1° Les épaisseurs de la porcelaine au col dans ces quatre isolateurs sont les suivants :

		millim.
Isolateur à double cloche (*gm*)		$e = 12,25$
Id.	à simple cloche	$= 11,00$
Id.	téléphonique à double cloche	$= 10,00$
Id.	Id. à simple cloche	$= 8,25$
Id.	blindé	$= 9,00$

On voit que la capacité électrique de ces pièces aug-

mente quand l'épaisseur du col diminue à l'exception du cas de l'isolateur blindé qui n'est pas établi dans les mêmes conditions.

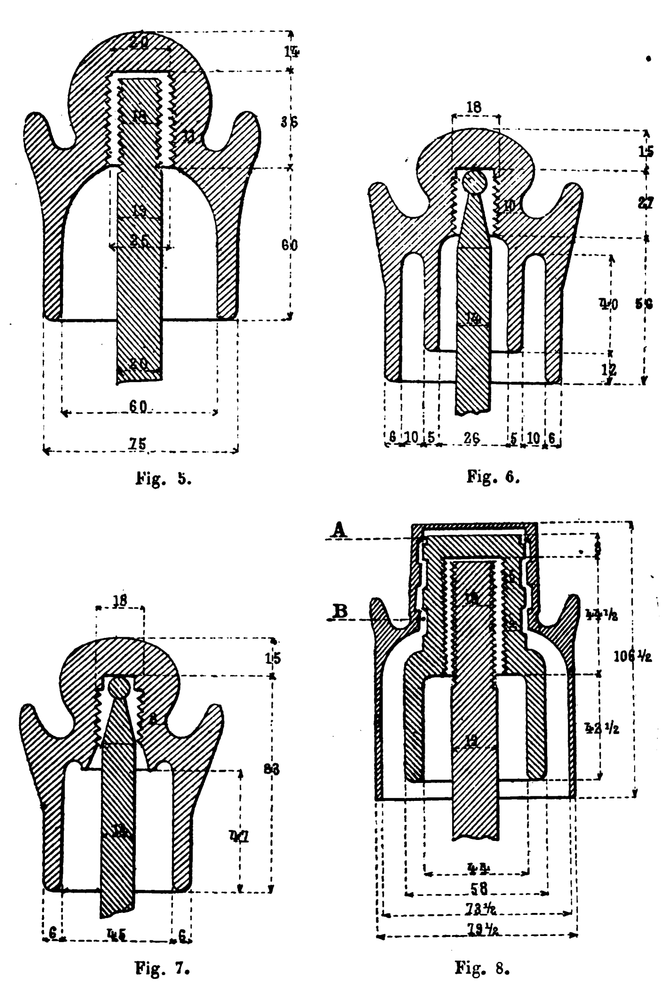


Fig. 5. Fig. 6.

Fig. 7. Fig. 8.

2° Tous ces isolateurs avaient été préalablement séchés avant la mesure de leurs capacités, aussi

leurs isolements respectifs avaient-ils les valeurs suivantes :

Isolateur	à double cloche (*gm*)	500 000 Ω
Id.	à simple cloche (*gm*)	500 000
Id.	téléphonique à double cloche	248 000
Id.	Id. à simple cloche	164 000
Id.	blindé	124 000 Ω

Sur les lignes, leurs isolements sont beaucoup moindres.

LAGARDE.

PERFORATEUR RAPIDE

Système TERRIN

Le système de transmission automatique que M. Belz a fait installer sur les câbles franco-algériens, il y a quelques années, avec le concours de M. Brahic et qu'il a décrit ici même (*), nécessite, comme le système Wheatstone d'où il dérive, la composition préalable des télégrammes sous forme de bandes de papier perforées. Cette opération, avec les perforateurs ordinaires, est relativement lente et pénible : un employé ne perfore guère plus de 25 à 30 télégrammes à l'heure. M. Terrin, commis principal des télégraphes à Marseille, a combiné un *Perforateur rapide* qui élève le rendement à 70 ou 80 télégrammes. Les bons résultats qu'a donnés un appareil en service depuis un an à Marseille, nous engage à le décrire ; nous laisserons pour le moment de côté quelques modifications que M. Terrin y a récemment apportées et qui, tout en semblant constituer un perfectionnement, n'ont point encore fait leurs preuves.

Avec les perforateurs ordinaires (**), la composition d'un caractère de l'alphabet Morse et de l'intervalle réglementaire qui le sépare du caractère suivant, nécessite de deux à six coups de marteau successifs ; M. Terrin, dans son « perforateur rapide », obtient le

(*) *Annales télégraphiques*, t. XV, 1888, p. 193.
(**) *Annales télégraphiques*, t. III, 1876, p. 403.

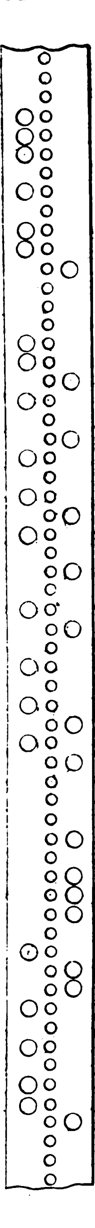


Fig. 1.

même résultat en abaissant simultanément une ou plusieurs touches; la progression automatique de la bande est toujours égale à la longueur qui en a été perforée pour produire le caractère et l'intervalle.

On sait que, dans le système Belz-Brahic, le point est représenté par un trou perforé dans la partie supérieure de la bande et le trait par un trou dans la partie inférieure; sur la verticale de l'un ou de l'autre un trou de plus petit diamètre, comme dans la perforation Wheatstone, est perforé du même coup au milieu de la bande et sert à l'entraînement du papier; la séparation des lettres est marquée par un trou additionnel sur la ligne médiane et celle des mots par deux (*fig.* 1).

Une lettre, un chiffre quelconque, se représente par un nombre de points ou de traits variant de un à cinq. Pour composer d'un seul coup le plus long caractère de l'alphabet Morse, il a donc fallu à M. Terrin disposer, comme dans le perforateur Wheatstone, les poinçons sur trois étages, celui des points (supérieur), celui de l'entraînement (intermédiaire), celui des traits (inférieur). Le nombre des poinçons doit en outre suffire à la perforation du plus long caractère et du blanc qui le précède; il y en a donc cinq supérieurs, cinq inférieurs et six intermédiaires. L'avancement, nous l'avons dit, a lieu auto-

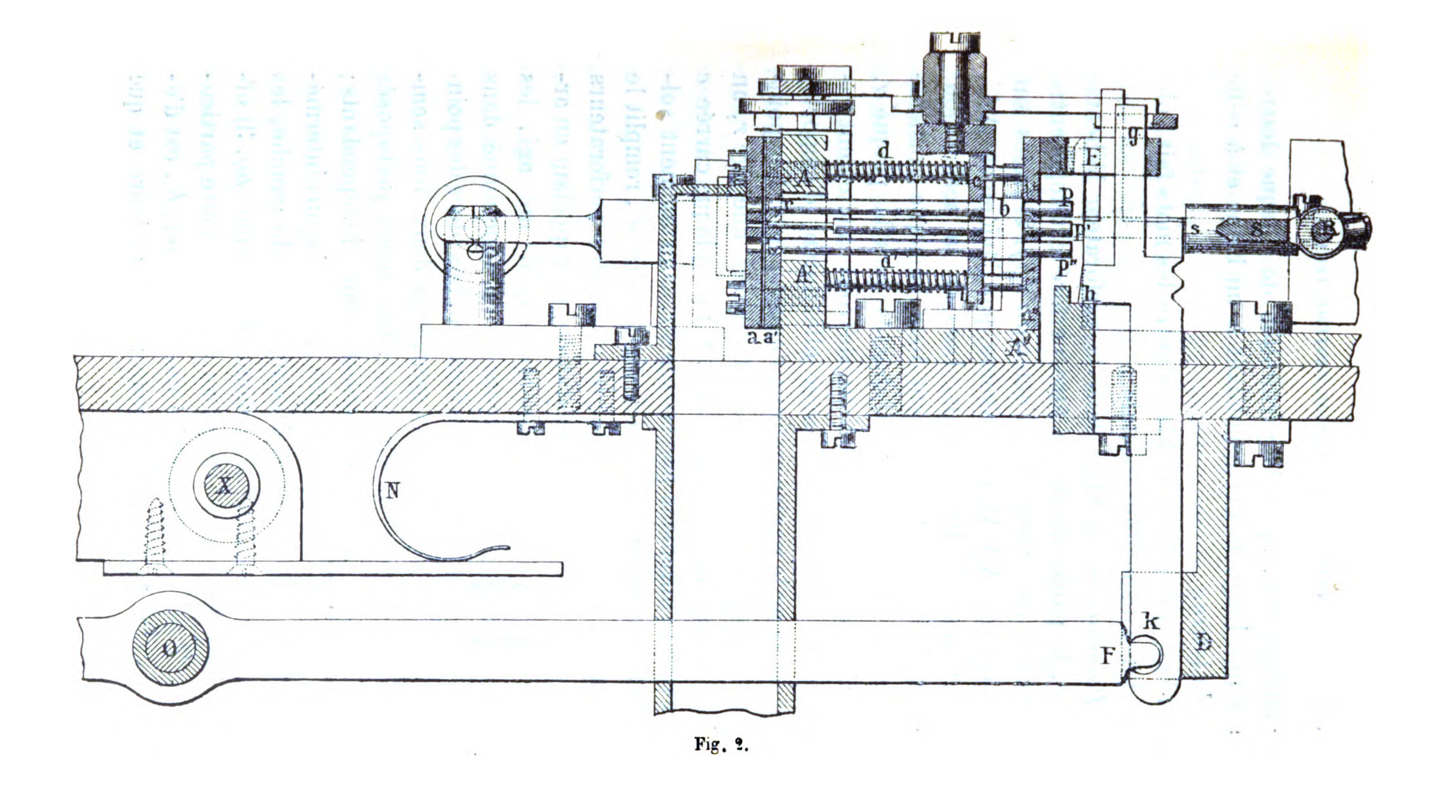


Fig. 2.

matiquement, après la perforation de chaque lettre, sur une longueur correspondant à un blanc et à celle de la lettre.

L'intervalle de trois blancs entre les mots fait l'objet d'une disposition spéciale.

Poinçons. — Comme dans le perforateur Wheatstone, le papier destiné à être perforé est logé entre deux plaques verticales d'acier aa' (*fig.* 2) fixées sur une équerre A A′ A″ que traverse, par l'évidement A A′, le groupe des 16 poinçons. Lors de la perforation, ceux-ci, engagés à frottement doux dans une troisième plaque a'' et dans a' sont chassés vers la plaque a, munie, en prolongement d'eux, de trous exactement calibrés et forment ainsi avec elle autant d'emporte-pièces pour le papier maintenu entre a et a'. Les poinçons présentent trois parties distinctes, une tige r, un bloc b, une tête p (*fig.* 2 et 3) : une plaque carrée c traversée librement par les tiges r, constamment sollicitée par des ressorts dd' (*fig.* 2) vers a'', remplit le le même rôle que la plaque ovale des perforateurs Wheatstone, en rappelant en arrière, après qu'ils ont agi, les poinçons ayant fonctionné dans la perforation. Les blocs des poinçons sont, sauf deux, tous semblables, simplement juxtaposés et entièrement indépendants; ceux des deux poinçons intermédiaires extrêmes de gauche, les cinquième et sixième (*fig.* 3) offrent au contraire cette particularité que le dernier, b_6, est d'épaisseur moitié moindre et que

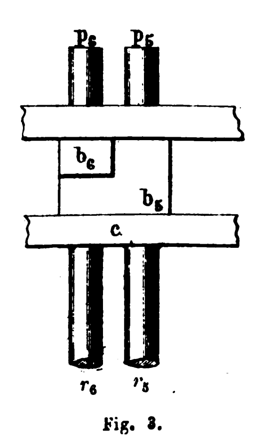


Fig. 3.

l'espace ainsi laissé libre entre lui et la plaque de rappel c est occupé par une saillie du bloc b_5; cette saillie est d'ailleurs percée de manière que le bloc puisse glisser sur le sixième poinçon sans l'entraîner; il résulte de cette disposition que celui-ci n'est pas solidaire des mouvements de l'avant-dernier poinçon, mais que, par contre, il le fait nécessairement avancer, quand lui-même avance.

Mise en mouvement des poinçons. — En arrière et dans le plan de chaque rangée verticale de poinçons, est disposé (*fig.* 2 et 4) un goujon ghk, longue lame d'acier, à profil spécial avec saillie h, bien guidée dans son plan, à ses deux bouts, par une sorte de peigne terminant la pièce D et par une grille E. A la partie inférieure k du goujon, est pratiquée une encoche où vient s'engager l'extrémité F d'un levier dont nous verrons tout à l'heure l'agencement. Pendant le repos, F exerce sur ghk une traction de haut en bas et la saillie h est ainsi maintenue au-dessous du niveau de la rangée inférieure de poinçons; pour la perforation, le goujon est soulevé plus ou moins par le levier de façon que h arrive immédiatement derrière un poinçon inférieur p'' et un poinçon intermédiaire p', ou derrière le poinçon intermédiaire p' et un poinçon supérieur p. Si, pendant qu'il occupe une de ces positions, on vient à produire un choc sur le dos du goujon, à la hauteur de h, le choc sera transmis par lui soit à p'' et p', soit à p' et p, c'est-à-dire que la bande sera percée d'un trou correspondant à un trait ou à un point et du trou intermédiaire destiné à rendre possible l'avancement du papier.

Chaque levier tel que LF (*fig.* 5), mobile autour d'un axe O, aboutit par le bras L sous deux touches M

(trait) et M′ (point) oscillant autour d'un axe commun

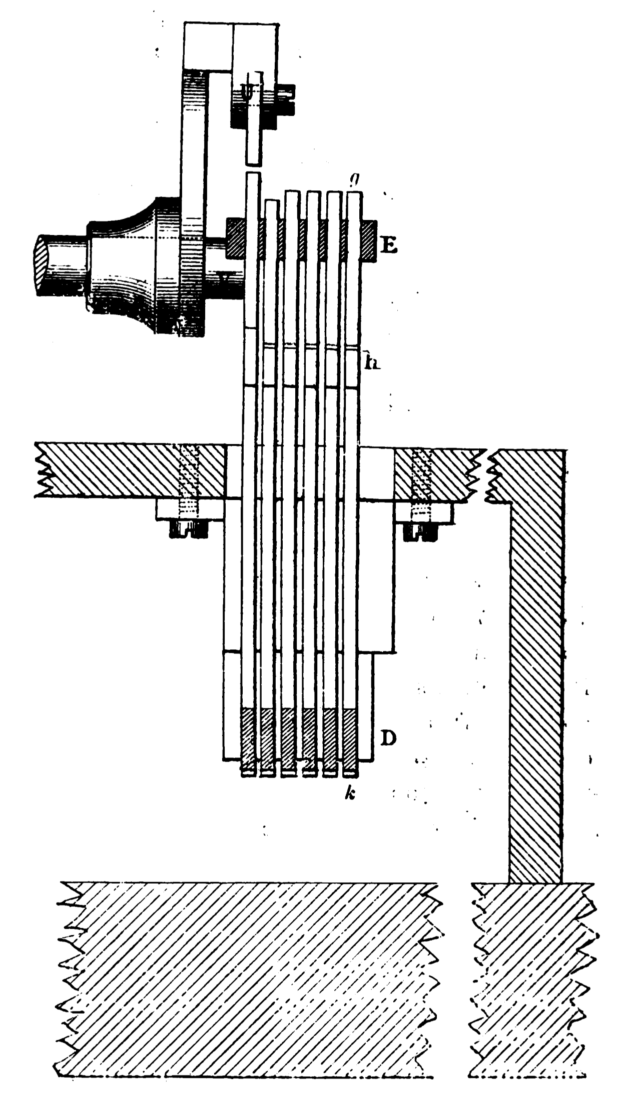


Fig. 4

X et maintenues soulevées par l'action de ressorts N; les butoirs m et m' limitent la course de la touche ou du levier. Si l'on appuie sur M, la course ainsi limitée par m ne communique à L et par suite à F qu'un mouvement d'assez faible amplitude, et le goujon ghk (*fig.* 2 et 5) est soulevé seulement de manière que la saillie h vienne se placer derrière p'' et p'. Au contraire, si l'on appuie à refus sur M', le bras L est abaissé jusqu'à ce qu'il touche m' et le déplacement angulaire du levier devient tel que le goujon soulevé présente h à la hauteur de p' et p.

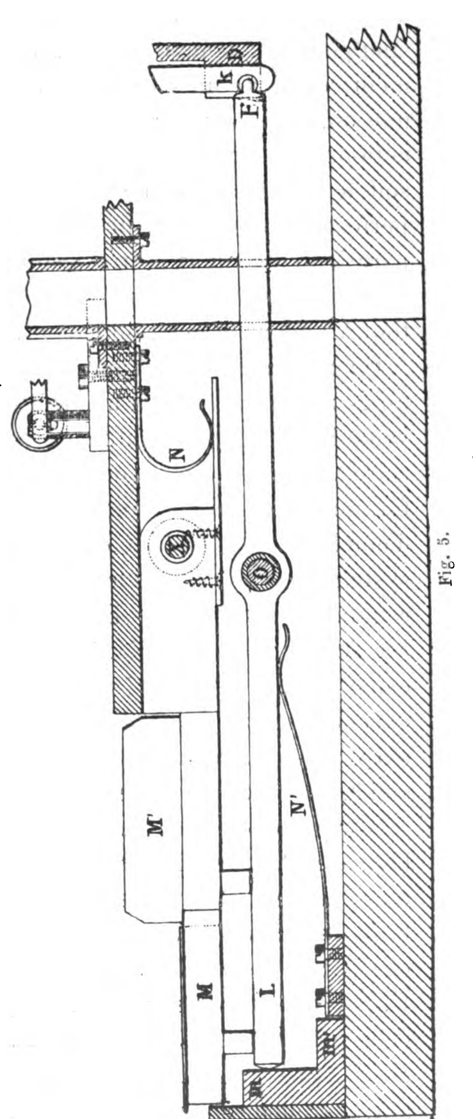


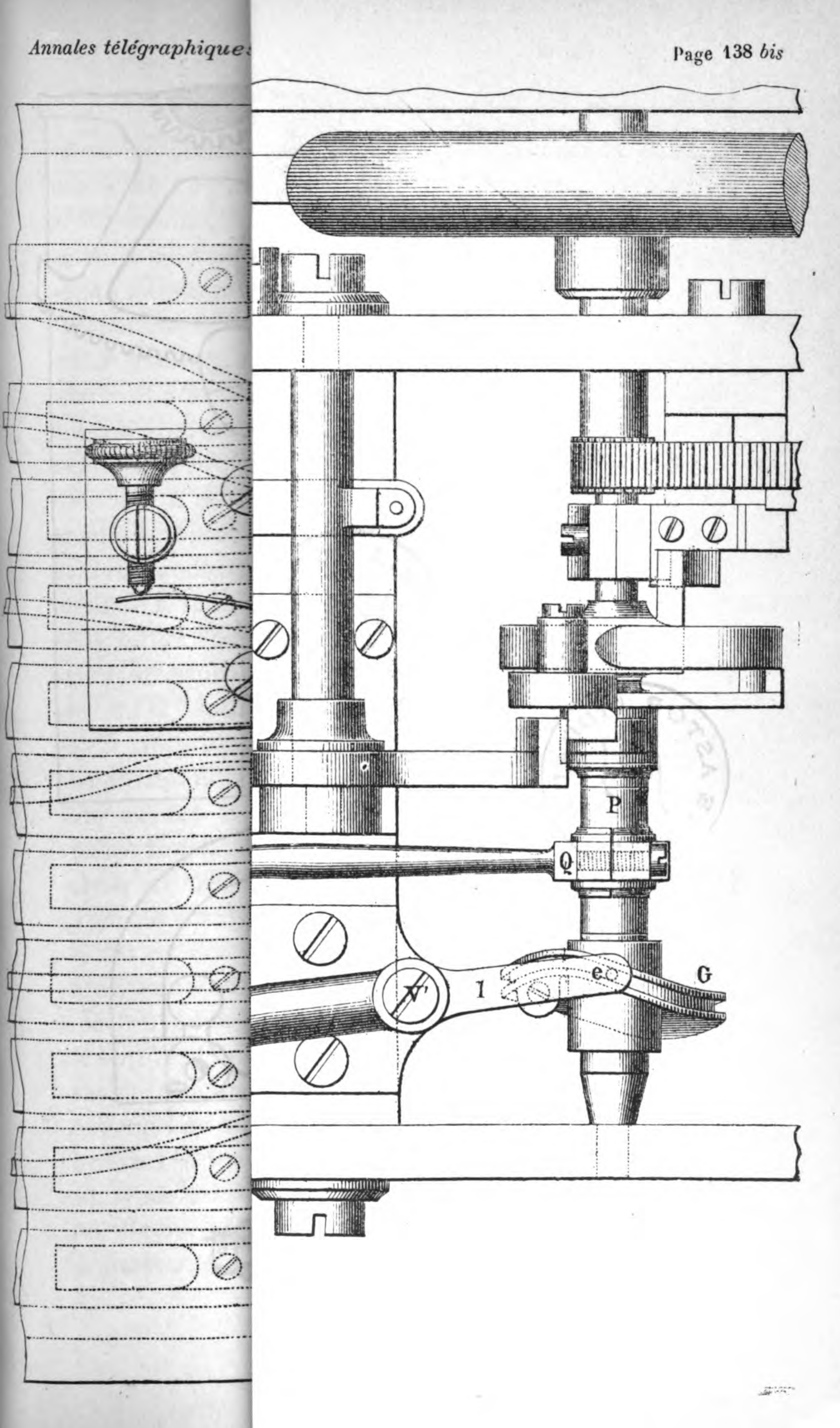
Fig. 5.

Chaque rangée verticale de poinçons étant accompagnée d'un goujon et d'un levier, on voit que les touches

donnant les signaux élémentaires des lettres seront au nombre de dix, cinq pour les traits (blanches), cinq pour les points (noires). Le clavier qu'elles forment comporte un sixième levier, sur la gauche, avec une onzième touche; le sixième levier est destiné à actionner le sixième poinçon intermédiaire qui perfore soit le trou mis, comme nous l'avons dit, avant toute perforation de lettre pour représenter l'intervalle de séparation entre deux lettres, soit les trous nécessaires à la séparation de deux mots. Nous en examinerons tout à l'heure le fonctionnement.

Quand, par l'abaissement d'une touche *trait* ou *point*, un goujon a été plus ou moins soulevé, un moteur convenable lui imprime automatiquement le choc nécessaire à la mise en mouvement des poinçons et à la perforation du papier; voici comment. M. Terrin, afin d'employer le matériel existant, emprunte pour son système les poids, les rouages, l'échappement et le régulateur du système Hughes. Le reste de l'appareil est supprimé et remplacé comme suit. A l'arbre des cames (*fig.* 6 et 7) est substitué l'arbre P muni d'un excentrique qui agit sur une tête de bielle Q; l'autre extrémité de la bielle s'articule en R à une traverse sSs' solidement guidée par les glissières ss'.

Ainsi que cela a lieu pour l'arbre des cames dans l'appareil Hughes, l'arbre P est rendu solidaire du moteur par le jeu d'un levier d'échappement qui rend libre un cliquet venant engrener avec une roue à rochet. Ici le levier d'échappement TU se termine, vers U, par une sorte de bec qui surplombe le 6e goujon, celui qui occupe la position extrême à gauche (*fig.* 4 et 7). Aussi, quand celui-ci, un peu plus long que les autres goujons, reçoit une impulsion de bas en haut


P
Q
V'
1
e
G



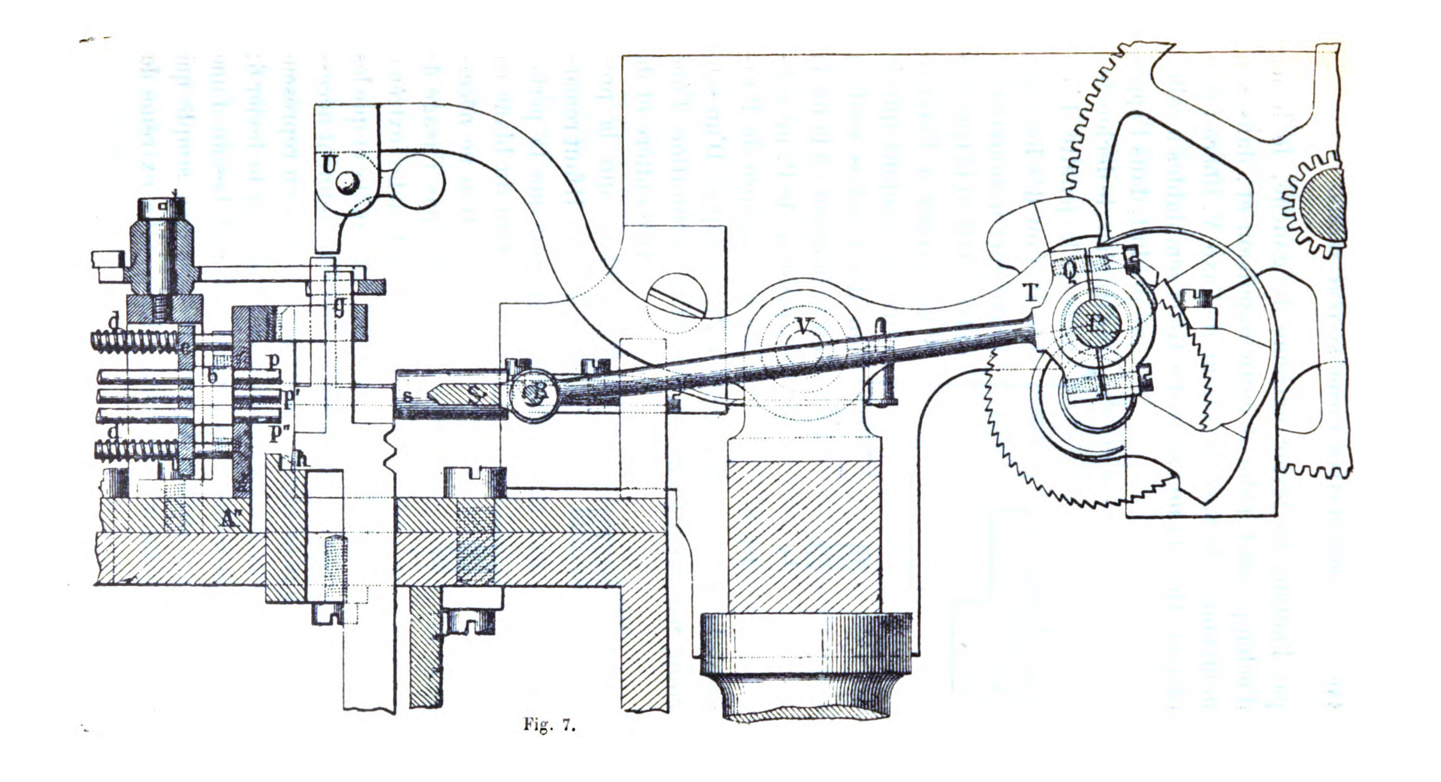


Fig. 7.

par l'action du levier extrême de gauche, le levier d'échappement subit-il cette impulsion et, dans son mouvement de bascule autour de l'axe V, libère-t-il le cliquet. On a là une suite d'actions semblables à celles que produit, dans l'appareil Hughes, le déclenchement de la palette. L'arbre P étant dès lors embrayé, met en mouvement la bielle QR, et la traverse S va frapper à l'arrière ceux des goujons que le jeu des touches soulève en ce moment : à la fin de la rotation de P, un colimaçon solidaire de P ramène le levier d'échappement TU au repos. D'un seul coup, par conséquent, on obtient la perforation d'une lettre entière et du blanc qui la précède. Il faut remarquer que la perforation du blanc en question ne nécessite pas l'usage de la touche extrême de gauche et que les touches « trait 5 » ou « point 5 », qui fonctionnent nécessairement pour chaque lettre puisqu'elles en représentent le premier signal, suffisent à abaisser le levier 6; les *fig.* 8 et 9 montrent, sans qu'il soit besoin d'une explication, l'artifice de construction très simple qui permet d'obtenir ce résultat. La touche extrême de

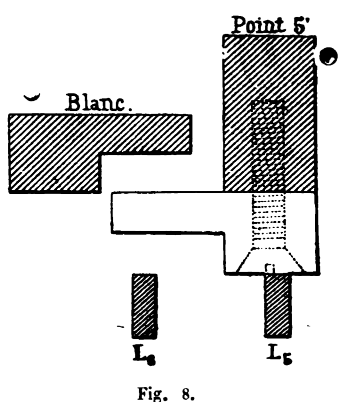


Fig. 8.

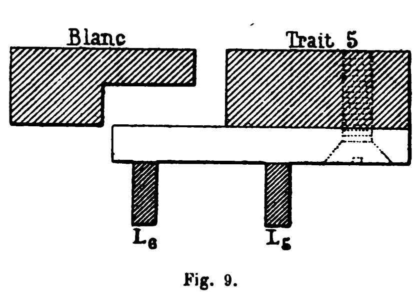


Fig. 9.

gauche, marquée « blanc », n'agit au contraire que sur le levier 6, mais, grâce à la disposition signalée plus haut des blocs appartenant aux poinçons intermédiaires 5 et 6, la manœuvre de cette seule touche provoque le mouvement des deux poinçons, le poinçon 5 étant entraîné par le poinçon 6 ; il n'y a pas, dans la rangée verticale 5, perforation d'un trou sur les lignes supérieure ou inférieure puisque le goujon de cette rangée n'a pas bougé et que le poinçon intermédiaire seul a été mis en action. La perforation de deux trous intermédiaires par l'abaissement de la touche extrême correspond bien à un « blanc » séparatif de deux lettres, car ces deux trous joints à celui qui sera perforé en avant de la lettre suivante donnera l'intervalle triple de celui qui sépare deux lettres.

Nous noterons incidemment que les signes de ponctuation ou autres renfermant plus de cinq signaux sont conventionnellement modifiés et ramenés à ce nombre de cinq.

Il nous reste à examiner comment se fait l'avancement du papier.

Progression. — A chaque lettre ou à chaque blanc, nous venons de le voir, le goujon 6 frappe le bec du levier d'échappement et de proche en proche met en mouvement l'arbre P. Or sur celui-ci (*fig.* 6) est monté, dans un plan oblique à son axe, un galet G, creusé d'une gorge sur tout son pourtour. C'est là le moteur du mécanisme de progression. En effet, dans la gorge de G est engagée une goupille *e* plantée en dessous et à l'extrémité d'un levier ll', mobile autour de l'axe V′ et prolongé par un ressort-lame $l'l''$. Le levier et le ressort-lame sont donc, par l'action de G, lors de la rotation de l'arbre P, entraînés d'abord

dans le sens des aiguilles d'une montre, puis ramenés en sens inverse. Mais dans ce mouvement oscillatoire autour de V′, le ressort-lame *l′l″* fouette en *j* l'extrémité d'un secteur denté *jj′* qui pivote autour de l'axe *t* passant par son centre et, après avoir fait tourner le pignon *x* sous l'influence du coup de fouet de *l′l″*, est rappelé dans la position de repos par le ressort à boudin *u*. D'autre part, le pignon *x* est solidaire (*fig.* 10 et 11) d'un disque *x′* qui porte un cliquet ; pignon et disque sont montés à frottement doux sur l'axe *y* invariablement lié lui-même à la roue à rochet *z* qui engrène avec le cliquet, et au manchon Z sur lequel sont implantées les goupilles qui forment avec les trous intermédiaires du papier l'engrenage d'entraînement. On voit donc que si le pignon *x*, sous l'action du secteur denté *jj′*, prend, indépendamment de l'axe *y*, un mouvement de droite à gauche inverse de celui des aiguilles d'une montre, il devient ensuite, par l'intermédiaire du cliquet, solidaire de cet axe *y* et le fait tourner dans le sens direct. Quand le ressort à boudin *u* ramène en arrière le secteur et le pignon, les goupilles du manchon Z entraînent alors le papier. Nous devons ajouter que la longueur de la

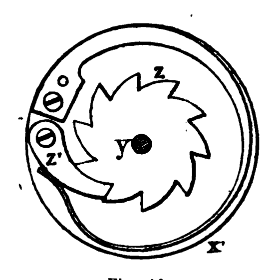


Fig. 10.

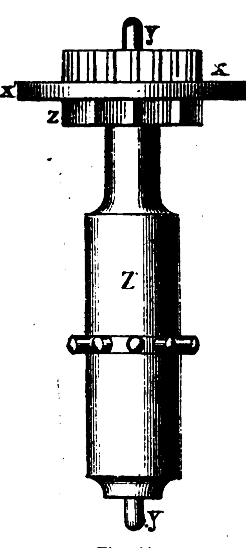


Fig. 11.

st formé d'un fil de cuivre
un cercle d'un diamètre
du circuit primaire ;
outchouc à vide et
de celui-ci (pour
figuré en traits
ux points M et N,
mètre qui joint le

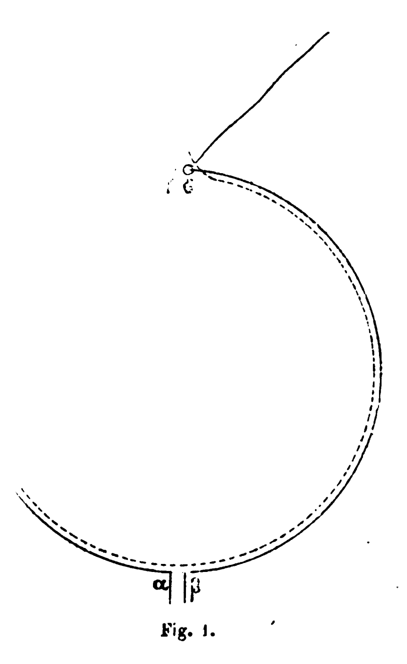


Fig. 1.

s oscillations dont le circuit de l'excitateur est le
e produisent autour de ce circuit un champ de
rce électro-magnétique périodique d'une grande inten-
sité : si l'on rapproche les extrémités M et N du circuit
secondaire, les étincelles jaillissent entre elles ; ces

SUR UN NOUVEAU PROCÉDE

POUR

TRANSMETTRE DES ONDULATIONS ÉLECTRIQUES

LE LONG DE FILS MÉTALLIQUES

ET

SUR UNE NOUVELLE DISPOSITION DU RÉCEPTEUR(*)

J'emploie, pour produire des ondulations électriques et pour les transmettre le long de fils métalliques, un procédé qui diffère de celui de M. Hertz et qui m'a rendu de très bons services. Un condensateur est formé de deux armatures circulaires α et β (*fig.* 1) d'environ 12 centimètres de diamètre et écartées de 1 centimètre au plus ; à ces armatures sont soudés deux fils de cuivre de 3 millimètres de diamètre, $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$, terminés par des boules γ et δ et recourbés de façon que chacun d'eux forme un peu moins de la moitié d'un cercle de 2 mètres de diamètre. Les boules γ et δ sont reliées par deux fils aux pôles d'une bobine d'induction. Lorsque celle-ci fonctionne, le condensateur $\alpha\beta$ se charge, puis se décharge par une étincelle qui éclate entre les boules ; cette décharge est oscillatoire. Tel est le circuit primaire, autrement dit l'excitateur.

(*) Note de M. Blondlot, présentée par M. Poincaré, *Comptes rendus*, 8 février 1892.



Le circuit secondaire est formé d'un fil de cuivre recourbé de façon à former un cercle d'un diamètre inférieur de 1 centimètre à celui du circuit primaire ; ce fil est engainé dans un tube de caoutchouc à vide et lié contre le primaire, du côté interne de celui-ci (pour rendre la figure plus claire, on l'a figuré en traits interrompus) : il se termine aux deux points M et N, situés de part et d'autre du diamètre qui joint le milieu de $\alpha\beta$ à celui de $\gamma\delta$.

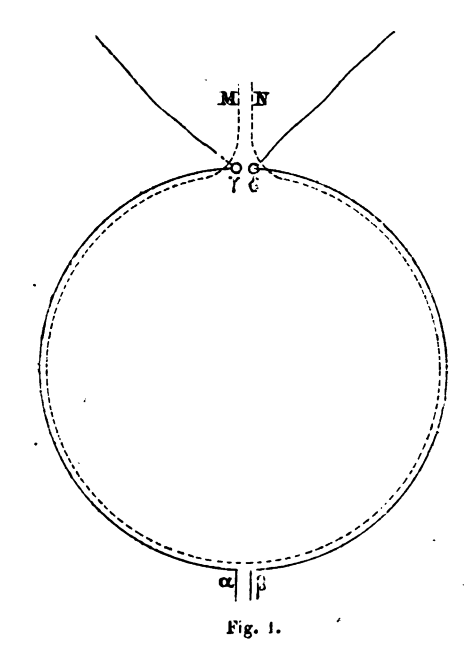


Fig. 1.

Les oscillations dont le circuit de l'excitateur est le siège produisent autour de ce circuit un champ de force électro-magnétique périodique d'une grande intensité : si l'on rapproche les extrémités M et N du circuit secondaire, les étincelles jaillissent entre elles ; ces

étincelles sont, dans certains cas, plus longues que celles du circuit primaire; j'en ai obtenu dont la longueur atteignait 11 millimètres.

Pour transmettre les ondulations, je soude aux extrémités M et N des fils de cuivre tendus parallèlement; c'est entre ces fils que je plaçais mon résonateur dans les expériences par lesquelles j'ai déterminé la vitesse de propagation des ondulations électromagnétiques (*).

Les avantages du procédé que je viens de décrire sont les suivants : les phénomènes sont très intenses et par suite faciles à observer; l'étincelle primaire est toujours oscillatoire, sans qu'on ait besoin de repolir les boules; il est très aisé de changer la période de l'excitateur, puisqu'il suffit pour cela de rapprocher ou d'écarter l'une de l'autre les armatures du condensateur $\alpha\beta$. Mais le principal avantage est le suivant : avec le procédé de M. Hertz, il se produit, dans le cas où les fils le long desquels les ondes se transmettent ne sont pas réunis à leur extrémité opposée à l'excitateur, une charge statique de ces fils due à l'influence des charges des deux plaques de l'excitateur. Ces phénomènes électrostatiques, tout à fait indépendants des ondes électriques, sont gênants dans certaines expériences (**); ils n'existent pas dans le procédé que j'emploie. Du reste, les nœuds et les ventres ont, pour chaque résonateur, exactement les mêmes positions avec mon dispositif qu'avec celui de M. Hertz.

(*) *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 628, et *Journal de physique*, 2e série, t. X, p. 549.

(**) V. Bjerknes, Sur le mouvement de l'électricité dans l'excitateur de Hertz (*Annales de Wiedemann*, Bd. XLIV, p. 520, et *Archives des sciences physiques et naturelles*, septembre 1891, p. 242).

Il va sans dire que la forme circulaire que j'ai donnée au circuit de l'excitateur n'est pas nécessaire : d'autres formes, en particulier la forme rectangulaire, conviennent également bien.

Dans le but d'augmenter l'action exercée sur le résonateur, je le dispose de la manière suivante : les fils MM′, NN′ sont tendus parallèlement ; à la distance d'environ 2 centimètres, dans la région de leur parcours où l'on peut placer le résonateur, ils sont repliés, comme l'indique la figure 2, de façon à former un rectangle $C_1D_1E_1F_1$, un peu plus grand que celui du circuit du résonateur. Ce dernier est disposé de manière que son circuit ACDEFB soit encadré par le rectangle $C_1 D_1 E_1 F_1$; l'action inductrice se produit ainsi sur les quatre côtés du circuit du résonateur et à une distance très petite ($0^{cm},5$ environ) ; il en résulte que les effets sont très intenses. Des supports appropriés, qu'il est inutile de décrire, servent à maintenir dans leurs positions respectives les fils inducteur et induit. Comme, avec cette disposition, il est impossible de faire voyager le résonateur le long des fils MM′, NN′, j'emploie pour déterminer les longueurs d'onde, la méthode du pont mobile, que j'ai précédemment décrite (*).

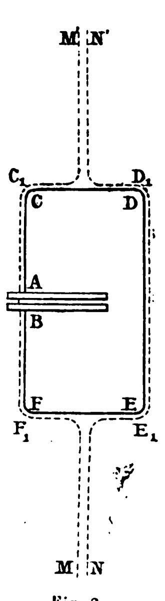


Fig. 2.

On voit que la disposition de l'excitateur et celle du récepteur sont toutes pareilles, comme dans le cas du

(*) *Journal de Physique*, 2e série, t. X, p. 554.

téléphone électro-magnétique. On peut même les construire de même grandeur, l'excitateur et le récepteur ne différant qu'en ce qu'une distance explosive existe sur le circuit du premier et un micromètre à étincelles entre les armatures du second : cet appareil fonctionne avec une grande intensité.

L'EMPLOI D'UN ISOLANT LIQUIDE

PRÉCONISÉ PAR JEAN EN 1858

POUR LES CONDUCTEURS PORTÉS A DE HAUTS POTENTIELS

L'attention a été, ces derniers mois, vivement ramenée sur les isolants liquides d'abord par l'essai de transport d'énergie entre Lauffen et Francfort (*), puis par de belles expériences dues à M. Tesla et à M. Elihu Thomson sur les courants alternatifs à grande fréquence et haut potentiel. Ces recherches donnent un véritable intérêt historique aux deux citations ci-après de M. A.-M. Tanner, dans l'*Industrie électrique*. La première est empruntée aux *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, A.-D., 1858, t. XLVI, p. 186.

M. Jean fait connaître, dans les termes suivants, les résultats obtenus avec les bobines d'induction construites par lui.

En isolant le fil induit des bobines d'induction, système Ruhmkorff, avec de la résine fondue ou simplement avec de l'essence de térébenthine, on peut en obtenir des étincelles dont l'intensité croît avec celle du courant inducteur dans une limite assez étendue.

Ainsi, avec 20 éléments de Bunsen, une bobine m'a donné des étincelles de 20 centimètres et deux bobines accouplées des étincelles de 30 centimètres.

En prenant quelques précautions pour éviter la dispersion de l'électricité, j'ai pu percer des plaques de verre ayant une

(*) Voir p. 40.

épaisseur de 2 centimètres et charger en quelques instants à saturation une batterie de 60 jarres présentant une surface condensante de plus de 6 mètres carrés.

Dans la seconde citation, M. Tanner reproduit un rapport fait par M. Du Moncel, sur la même question, à la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. Ce rapport figure au *Bulletin* de la société, 57e année, janvier 1858, t. V, p. 232.

M. Jean a apporté dernièrement à l'appareil de M. Ruhmkorff des perfectionnements qui lui ont permis : 1° d'obtenir des étincelles de 30 centimètres à l'air libre; 2° de percer une lame de verre de 3 centimètres; 3° de charger à saturation une batterie de Leyde.

Dans les bobines de M. Jean, l'hélice inductrice présente quatre rangées de spires superposées, et l'hélice induite cinquante rangées.

Les fils dont il se sert pour ces deux hélices sont un peu plus fins que ceux employés par M. Ruhmkorff. Celui de l'hélice inductrice a 1mm,5 de diamètre au lieu de 2. Celui de l'hélice induite a 0mm,25 au lieu de 0mm,4.

Les différentes rangées de spires de l'hélice inductrice sont séparées les unes des autres par une feuille de papier buvard, et celle de l'hélice induite par deux feuilles de ce même papier. Le tout est disposé verticalement dans un vase de grès d'à peu près même dimension que la bobine et la dépassant même un peu en hauteur; enfin le vase lui-même est rempli d'essence de térébenthine, de telle sorte que la bobine entière, y compris même le noyau des fils de fer qui occupe son centre, est noyée entièrement dans l'essence.

Comme les étincelles pourraient s'échanger d'une des extrémités du fil induit à l'autre, au sortir de l'essence, les extrémités sont enveloppées dans des tubes de verre qui aboutissent aux deux supports isolés formant les pôles de l'appareil. Malgré toutes ces précautions, l'appareil en question ne fournirait pas les résultats que nous avons annoncés, si, avant l'immersion de la bobine dans l'essence, on ne prenait pas soin de

dessécher convenablement les feuilles du papier buvard, qui contiennent toujours un peu d'humidité.

Pour obtenir ce desséchement, M. Jean introduit la bobine sous le récipient d'une machine pneumatique disposée de manière à permettre l'introduction d'un tuyau muni d'un robinet et communiquant d'une part avec le vase renfermant la bobine, de l'autre avec un flacon rempli d'essence.

En faisant le vide sous le récipient, après y avoir introduit une capsule remplie d'acide sulfurique anhydre, on finit par dessécher complètement l'appareil et, lorsque ce desséchement est jugé suffisant, on ouvre le robinet du tuyau; alors l'essence se déverse immédiatement dans le vase où est plongée la bobine. De cette manière, l'isolement est aussi complet que possible.

L'un des plus grands avantages des bobines à essence de M. Jean, c'est de permettre l'additon indéfinie d'éléments à la pile, sans qu'on ait à craindre aucune détérioration de l'appareil.

On comprend en effet que si la tension du courant induit devient telle, que les couches de coton et de papier qui isolent les différents tours de spires de l'hélice soient traversées et trouées par les étincelles qui pourraient alors s'échanger directement entre les spires intérieures et les spires extérieures, l'isolement ne doit pas moins subsister après qu'avant, puisque ces trous se trouvent immédiatement bouchés par l'essence liquide.

On a donc tout avantage à employer la disposition de M. Jean.

LA TÉLÉPHONIE

ET LES TAXES TÉLÉPHONIQUES

EN DANEMARK, EN SUÈDE ET EN NORVÈGE

(Suite et fin) (*).

Les autres réseaux téléphoniques méritant une mention, sont ceux de Malmö et Gothenburg, de Aarhus et Randers. Les deux premiers, créés par la Compagnie du téléphone Bell, ont été rachetés, il y a quelques années, par l'administration suédoise des télégraphes. Malmö et Gothenburg sont en même temps les centres d'un assez grand nombre de réseaux téléphoniques locaux de leurs provinces respectives qui y sont reliés par des conducteurs spéciaux ou des conducteurs communs à plusieurs localités. Le réseau urbain de Malmö desservait, en 1890, 600 abonnés reliés à un seul poste central. Ce dernier, quoique indépendant du bureau télégraphique central, est installé dans le même local, lequel appartient à l'État et se trouve situé à l'extrémité sud de la ville, en face de la gare. Cette situation excentrique du poste central a forcé de construire le réseau en forme d'éventail. Installé à l'origine avec des conducteurs en acier et sans grand soin, le réseau a été et est encore, partout où il y a

(*) Voir p. 70.

lieu, l'objet d'une transformation opérée par l'administration des télégraphes d'après les dernières règles, en même temps que les anciens conducteurs sont remplacés par des fils en bronze de $0^{m},00125$. Le poste central est pourvu de commutateurs multiples du type américain, desservis par des dames. Comme à Stockholm, l'emploi de téléphoniste n'est accordé qu'en suite d'un examen semblable à celui que subissent les télégraphistes. Pour les nombreux conducteurs reliant les localités voisines, l'on a récemment installé un commutateur spécial. Les appels se font au moyen de machines magnétos et, pour les communications avec les abonnés, l'on utilise des appareils portatifs d'Ericsson.

A Gothenburg, les conditions sont les mêmes. A noter toutefois que le poste central occupe un immeuble pris en location et situé presque au centre du réseau. La disposition du réseau est donc plus régulière. Les abonnés étaient en 1890 au nombre de 1.150. Ce réseau est également modernisé là où la chose est nécessaire. Les dispositifs sont identiques à ceux de Malmö. On est à la veille d'introduire le système multiple sur ce réseau, qui utilise à l'heure actuelle des commutateurs de différentes sortes.

Les réseaux téléphoniques de Randers et Aarhus (Jutland) ont été installés par des compagnies locales, qui les exploitent. Ces réseaux, de même que la plupart de ceux existant dans le Jutland, desservent en même temps nombre de petites localités voisines, dont les habitants sont reliés à peu près aux mêmes conditions que les souscripteurs des villes ; les réseaux en question ont donc un caractère régional, malgré leur extension limitée. Le réseau de Randers et des envi-

rons comptait en 1890 quelque chose comme 270 abonnés, dont 200 habitant Randers. Les questions techniques sont du ressort d'un architecte qui s'acquitte honorablement de sa tâche et remplit ses fonctions avec beaucoup de zèle. Les conducteurs sont installés avec soin en lignes bien disposées passant au-dessus des toits. Les appuis sont exclusivement formés de fers tubulaires. Comme isolateurs, on a des cloches en porcelaine fixées sur des consoles droites en fer. Les conducteurs sont en fil d'acier; on commence à les remplacer par des fils de bronze de 0m,00125, provenant de l'usine Felten et Guilleaume. Sur le toit du poste central, un châssis en fer tubulaire élégant et ornementé, de forme octogonale et de dimensions assez grandes, est destiné à recevoir les fils. A l'intérieur s'élève un pavillon en bois exécuté avec goût, peint de couleurs claires et pourvu d'une galerie extérieure permettant de faire le tour de la construction. C'est dans ce pavillon que pénètrent les conducteurs pour aboutir ensuite par des câbles dans le poste central et à un commutateur fourni par Wehr, de Berlin. Ce dispositif ne répond plus aux nécessités actuelles du service; il sera prochainement remplacé par un commutateur multiple. Le service est assuré par des dames, dont deux sont toujours présentes au bureau. Les appels se font au moyen de magnétos; les appareils du poste central sont des téléphones Bell-Blake avec microphone Ericsson. On trouve chez les abonnés des appareils de type très divers; la plupart se servent de microphones d'Ericsson, et, comme c'est aux abonnés eux-mêmes qu'il appartient de se munir des appareils nécessaires, ils ont dû de ce chef se soumettre à un supplément de dépense.

Le réseau téléphonique desservant Aarhus et les environs est le mieux construit du Jutland. Il a été installé — à l'aide de capitaux mis à sa disposition — par le capitaine Springborg, inspecteur des bâtiments de la ville et du service des incendies, puis vendu à une société par actions. Ce réseau comptait, en 1890; 350 abonnés, dont 300 habitant Aarhus. Cette société s'est construit l'année dernière, presque au centre de la ville, un hôtel à elle, édifié d'après celui de la grande Compagnie générale de Stockholm et destiné tant à l'exploitation qu'à l'administration. Il est surmonté d'une haute tour pouvant recevoir 1.200 conducteurs.

Les lignes renfermant de très grandes portées, et, eu égard aux difficultés locales existantes, on doit reconnaître que le réseau a été conçu et construit avec un soin tout particulier. Les appuis sont tous en fer cornière ou en fer en ⊔. Comme conducteurs, on n'a employé, dans ces derniers temps, que des fils de bronze de $0^m,0011$ tirés d'abord de Belgique, puis de la maison Felten et Guilleaume, et actuellement fournis par la fabrique Basse et Selve. Le poste central occupe une haute et vaste salle recevant la lumière de deux côtés et pourvue de commutateurs multiples qui sortent des ateliers d'Ericsson. Cette salle renferme actuellement deux tableaux de 200 annonciateurs d'une capacité de 1.200 lignes. Au besoin l'on installera un plus grand nombre de ces tableaux. Ces derniers sont conditionnés avec goût, et l'installation du poste, dans son ensemble, produit une bonne impression.

A Aarhus, comme dans toutes les villes des trois pays scandinaves, le service est assuré par des dames. Celles-ci se servent, pour communiquer avec les abon-

nés, d'appareils portatifs d'Ericsson qu'on suspend à des fourchettes durant les périodes de repos. Les appels ont lieu au moyen de magnétos. Les abonnés ont à leur disposition des appareils Bell-Blake; cependant le microphone Blake se trouve fréquemment remplacé par le microphone à poudre de charbon d'Ericsson. Le réseau d'Aarhus ne donne pas lieu à d'autres observations.

Les bureaux centraux de Randers et Aarhus, outre qu'ils desservent les localités du Jutland, jouent encore un autre rôle. En suite d'arrangements spéciaux, ils contribuent en effet à assurer, par leurs lignes, les conversations téléphoniques entre les localités éloignées du nord et du sud, de l'est et de l'ouest, et *vice-versa*, et cela moyennant une faible rétribution. L'on trouvera plus loin des détails sur cette partie du service et les taxes qu'il comporte.

b) *Installations pour les grandes distances.* — Au point de vue des communications à longues distances, le seul réseau de l'administration télégraphique suédoise peut être considéré comme parfait; car lui seul emploie des lignes à double fil de bronze suffisamment fort (de $0^m,002$ à $0^m,003$) d'une extrémité à l'autre de la ligne et jusqu'aux postes des abonnés. En général, pour les relations entre deux localités voisines, l'on utilise de simples lignes en bronze à un seul fil. Ces lignes sont d'ordinaire en nombre suffisant, qu'elles soient directes ou qu'elles servent comme lignes omnibus. En outre, les lignes établies par les compagnies privées des capitales des trois royaumes, agissant seules ou d'accord, répondent généralement, quant à la construction et au matériel employé, aux besoins actuels, là du moins où il s'agit de communications

directes. Les conducteurs, à quelques exceptions près, sont en bronze, mais les circuits se composent le plus souvent d'un seul fil, en sorte que, dans le cas fréquent où plusieurs conducteurs sont portés par les mêmes poteaux, on ne peut pas compter sur un service exempt de perturbations. Bien que les sociétés intéressées assurent une exploitation répondant amplement aux besoins des réseaux locaux, ceux-ci, à quelques exceptions près, sont défectueux et insuffisants en ce qui concerne les communications à longues distances. Ils sont construits avec conducteurs de fer ou d'acier et à un seul fil. On est arrivé à établir des réseaux qui n'arrivent ainsi à correspondre qu'entre localités peu éloignées et encore non sans difficulté, en raison de l'imperfection de nombreuses installations et de l'insuffisance d'entretien des lignes. Le Danemark ni la Norvège ne possèdent, entre leurs villes importantes, de lignes directes, ce qui est une condition essentielle de la téléphonie à longue distance; la construction de pareilles lignes est même peu probable, eu égard aux frais élevés qui en résulteraient et à la difficulté d'amener une entente à ce sujet entre les petites sociétés exploitantes actuelles. En Suède, l'État seul a pu établir des lignes de ce genre. Les lignes téléphoniques les plus longues, de cette catégorie, sont celles de Stockholm à Malmö : 620 kilomètres, et de Stockholm à Gothenburg : 460 kilomètres. Elles se composent chacune de deux circuits à double fil de bronze de $0^{m},003$. L'un des circuits est affecté aux communications directes, l'autre dessert les localités intermédiaires que traverse la ligne. Ils sont posés sur poteaux en bois préparé plantés le long des lignes de chemins de fer. Pour prévenir les phéno-

mènes d'induction, l'on a adopté un groupement qui correspond à celui employé sur la ligne téléphonique de Paris à Bruxelles (*). Les lignes suédoises ont été installées avec le plus grand soin. Il résulte de l'expérience que la voix est transmise parfaitement claire, sans perturbation importante. On se propose de poser au besoin, sur les mêmes poteaux, des fils télégraphiques. Les autres lignes téléphoniques destinées au service à longue distance suivent généralement les routes. Les poteaux sont ou bruts ou préparés, suivant le nombre de fils qu'ils doivent porter. Aucune différence n'est à signaler quant à la qualité des matériaux utilisés. A noter que, dans toutes les localités possédant des communications à double fil, les lignes d'abonnés sont également à deux fils. Dans le cas de réseaux à fil unique, les lignes d'abonnés sont aussi à fil unique. Ceci résulte, la plupart du temps, du rachat de réseaux construits antérieurement, et la substitution des lignes bifilaires aux lignes unifilaires ne tardera pas à se faire.

Grâce aux efforts des compagnies téléphoniques de Stockholm et de Christiania, un certain nombre de localités voisines de ces deux villes sont reliées à leurs capitales respectives. Les petites localités ayant un grand nombre d'abonnés et un service important sont dotées de lignes spéciales; tandis que les autres localités, moins importantes, ne disposent que d'une ligne omnibus. Le service est organisé de telle sorte que c'est la localité la plus rapprochée du poste de la capitale qui donne la communication. Les lignes bordent les routes, et leur passage donne lieu au paiement d'indemnités importantes en faveur des propriétaires

(*) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. IV, 1887, p. 262 et *Génie civil*, t. XI, 1887, p. 140.

(communes, etc.). C'est pourquoi les diverses lignes, autant que possible, sont réunies sur les mêmes poteaux; et comme elles sont à fil unique, la conversation est défectueuse. Les poteaux sont en bois brut de dimensions moyennes; les conducteurs pour les lignes principales sont des fils de bronze de $0^m,002$, et pour les lignes omnibus des fils d'acier de $0^m,0025$.

Le réseau des communications à grande distance, auquel est intéressée la compagnie par actions de Copenhague, s'étend sur tout le Seeland et dessert les principales localités de cette région au moyen de lignes directes ou de lignes omnibus convergeant sur la capitale. Le plus souvent, ces lignes ont été établies par la compagnie téléphonique de Copenhague jusqu'à une distance de 15 kilomètres de son poste central, puis de là continuées par les entreprises locales intéressées. Sont reliées directement à Copenhague les villes de Helsingör, Hillerod, Roskilde et Kjöge; sont reliées par des fils omnibus *Hillerod*, qui se trouve sur la même ligne que Frederikssund et Birkeröd; *Roskilde*, dont la ligne dessert en même temps Holbaek et Kallundborg, *Kjöge* sur la même ligne que Storehedinge, *Haslev* sur la même ligne que Faxe, *Naestved* sur la même ligne que Praestö et Vordingborg, *Ringstedt* sur la même ligne que Sorö Stagelse, Korsör et Skjelskör. Ce sont les bureaux dont les noms figurent en italique qui donnent la communication aux autres localités ci-dessus. Toutes ces lignes, paraît-il, sont en fils de bronze de $0^m,002$.

En ce qui concerne les communications téléphoniques entre les localités principales du Jutland, il faut remarquer qu'elles ont été établies à frais communs par les entreprises locales des villes voisines. Chacune

de ces entreprises a construit elle-même la moitié de sa ligne ou l'a fait installer par un constructeur. Seules, les lignes d'Aarhus à Odder, à Silkeborg, à Herning et à Holstebro, se composent de fils de bronze de $0^{m},002$; toutes les autres sont en fils de fer ou d'acier.

Nous signalerons encore la société téléphonique de d'Oerebro (Oerebro Telephonvörbund). C'est l'une des plus importantes des nombreuses associations téléphoniques existant en Suède; son réseau, qui s'étend sur le territoire de plusieurs divisions administratives du pays, dessert de nombreuses localités grandes et petites. Ces localités sont toutes reliées directement ou indirectement entre elles, ainsi qu'avec Oerebro, le point central. Sur ce réseau, l'on fait usage, dans une large mesure, pour le raccordement des petites localités, du commutateur automatique dit inverseur. On peut douter que des conditions pareilles assurent un service satisfaisant.

TARIFS.

De grandes différences existent, dans les trois pays, entre les taxes perçues pour l'usage du téléphone. Chaque entreprise presque a son tarif particulier, dans la fixation duquel il a été tenu compte de considérations spéciales. C'est ainsi qu'à Stockholm, l'abonnement au réseau urbain de l'État ne s'élève qu'à 90 marks par an — il s'agit de faire concurrence aux compagnies rivales qui perçoivent 140 marks, — tandis que, dans la ville bien moins importante de Malmö, l'État, qui n'a à redouter aucune concurrence, perçoit sur ses abonnés quelque chose comme 140 marks par an. Les tarifs d'abonnement, sur les petits réseaux,

oscillent entre 20 et 170 marks, et se tiennent, en moyenne, entre 60 et 90. Ce dernier chiffre se rencontre surtout dans nombre de localités de moyenne importance pourvues d'assez bons réseaux. Là où les abonnements sont inférieurs à 60 marks, les abonnés ont dû se faire relier au réseau à leurs propres frais, soit une dépense de 100 à 270 marks, suivant le genre de construction. Dans ces cas, l'annuité payée par les abonnés et qui oscille entre 20 et 60 marks, sert à couvrir les frais généraux d'administration, ainsi que l'exploitation, l'entretien du bureau central et des lignes, et varie avec eux. L'abonné doit entretenir lui-même son branchement et son poste.

Les tarifs téléphoniques donnent lieu aux observations suivantes :

A Copenhague, où le service est assuré par une compagnie, l'annuité est de 150 couronnes pour l'abonné habitant la ville ou les environs immédiats. On établit même exceptionnellement de plus longues lignes sans majoration de l'abonnement. Celui-ci est annuel.

Pour les postes dits *postes d'été*, qui sont installés dans les stations de bains ou de villégiature voisines de la capitale et qui servent seulement une partie de l'année, l'abonnement est abaissé à 100 couronnes. Pour les postes desservis par une ligne commune et dont le nombre peut monter jusqu'à cinq, l'annuité est de : 170 marks attribuables à la ligne, plus une somme de 60 marks par abonné.

La société possédait, en 1890, 23 cabines téléphoniques publiques et se proposait d'en créer d'autres. Ces cabines sont gratuitement accessibles aux abonnés — contre production de leurs cartes d'identité — pour les conversations à l'intérieur du réseau urbain ;

s'il s'agit de conversations extramuros, dans les limites du réseau du Seeland, les abonnés acquittent une taxe de 25 ores. Les non abonnés, pour converser dans le réseau urbain, payent 15 ores et, pour converser en dehors, 25 ores, comme les abonnés. Tout abonné peut, avec l'autorisation de la société, laisser un tiers utiliser son appareil. Les abonnés versent pour ce, à la compagnie, une indemnité qui peut s'élever jusqu'à 90 marks par an, si l'appareil est fréquemment utilisé par des étrangers. Le nombre de ces appareils semi-publics est assez élevé; ils se trouvent surtout chez les boutiquiers. A noter cependant que, pour la plupart, lesdits appareils ne sont utilisés que dans une mesure raisonnable.

La transmission et l'échange de télégrammes sur le réseau téléphonique urbain et sur le réseau extérieur sont admis contre payement de taxes variables suivant le parcours, mais généralement modérées.

Dans les localités importantes du Seeland, l'abonnement annuel est, en moyenne, de 100 marks; sur les petits réseaux, il accuse un chiffre un peu moindre. Pour la communication avec Copenhague, les abonnés aux réseaux urbains de province acquittent une annuité qui s'élève jusqu'à 50 marks; sur cette annuité, la compagnie téléphonique de Copenhague prélève 10 couronnes; le reste revient aux entreprises provinciales qui ont généralement installé et qui doivent entretenir la ligne.

Dans le Jutland, les abonnements aux réseaux urbains sont un peu moins élevés. Dans les villes importantes telles que Aalborg, Aarhus, Randers, etc., ils s'élèvent à 80 et 85 marks; dans les localités de moindre importance, à 60 marks en moyenne, quand

la longueur du raccordement ne dépasse pas 1 kilomètre. Les distances plus grandes comportent une augmentation de 10 à 27 marks pour chaque accroissement compris entre 1.000 et 2.000 aunes danoises. Lorsque plusieurs abonnés se trouvent reliés sur un même fil, indépendamment de l'annuité relative à la ligne, chaque abonné doit acquitter une taxe annuelle oscillant entre la moitié et les deux tiers des chiffres précités, sans égard pour le cas où la mise en communication avec le poste central a lieu suivant le mode usuel ou au moyen d'un appareil inverseur. Cinq abonnés peuvent être reliés sur un même fil, sans avoir besoin, pour ce, d'habiter un même immeuble, mais à la condition que leurs résidences respectives ne soient pas trop distantes les unes des autres. Ce mode de rattachement est surtout pratiqué dans les pays plats et dans les villages et hameaux de minime importance rapprochés les uns des autres. Pour les communications au delà du réseau, les taxes, par conversation, atteignent jusqu'à 30 pfennigs, et l'abonnement annuel jusqu'à 33 marks. Le paiement de cette dernière somme donne droit à l'utilisation de l'ensemble du réseau du Jutland. Mais les abonnements semblables sont en très petit nombre, parce que, sur bien des points, les conversations, pour les raisons indiquées plus haut, sont rarement aisées. Toutes les localités du Jutland et du Seeland possèdent des cabines téléphoniques publiques. L'usage en est gratuit pour les abonnés, tant qu'il s'agit de correspondre à l'intérieur du réseau local; les non abonnés acquittent, par conversation, une taxe de 15 à 20 ores.

A Stockholm, où trois entreprises fonctionnent parallèlement, l'abonnement annuel au réseau de l'État

est de 80 couronnes, tout compris, jusqu'à concurrence d'une longueur de ligne de 2 kilomètres et à condition que l'abonné s'engage pour cinq ans. Si la ligne dépasse 2 kilomètres, il est payé une annuité de 10 couronnes pour chaque demi-kilomètre en sus. Comme les lignes de raccordement, sur le réseau de l'État, se composent d'un double fil, l'abonné, indépendamment des taxes ci-dessus, verse une fois pour toutes une somme de 50 couronnes si la longueur de la ligne n'excède pas 2 kilomètres, et 25 couronnes en plus si les 2 kilomètres sont dépassés.

En cas de circuits communs, il est, indépendamment de l'annuité concernant la ligne commune, perçu pour chaque raccordement — il peut y en avoir cinq sur un même circuit — une taxe annuelle de 30 à 50 couronnes. L'administration de l'État possède 10 cabines téléphoniques publiques dont l'accès est gratuit pour quiconque désire activer ainsi l'envoi d'un télégramme dans l'intérieur de Stockholm. A noter encore que le passage des télégrammes sur les lignes téléphoniques de l'État est gratuit.

La Compagnie générale par actions des téléphones a fixé ses abonnements à 125 et 100 couronnes par an dans l'intérieur de la capitale et dans le voisinage immédiat de cette dernière, avec engagement pour une durée de cinq ans. Les abonnés versant l'annuité la plus élevée — 125 couronnes — sont rattachés aux tableaux avertisseurs les mieux desservis (par trois employés) et sur lesquels les mises en communication sont le plus promptement effectuées. Les abonnés acquittant l'annuité la plus faible doivent encore verser une fois pour toutes, en quelque sorte à titre de droit d'adhésion, une somme de 50 couronnes. Ces der-

niers abonnés ne peuvent exiger une mise en communication aussi prompte que celle assurée aux premiers. Sur ce réseau, le rattachement de plusieurs abonnés sur un même fil — jusqu'à concurrence de cinq — est très fréquent; il constitue même presque la règle pour les abonnés habitant loin du poste central, et la société le favorise en raison des difficultés qu'elle éprouve dans l'installation des conducteurs d'une longueur assez grande. Les abonnés ainsi reliés sur un même fil, selon qu'ils sont au nombre de 2, 3, 4 ou 5 à utiliser un circuit, versent une fois pour toutes une somme de 100, ou 80, ou 60, ou 50 couronnes. Les postes rattachés au même commutateur automatique peuvent se trouver dans des immeubles différents, mais voisins les uns des autres. La compagnie générale, ayant à soutenir une lutte sérieuse contre l'administration de l'État, cherche par tous les moyens à grossir le chiffre de ses abonnés. Depuis quelque temps, contre paiement d'un abonnement annuel de 10 couronnes, elle installe des appareils dont l'utilisation comporte une taxe de 10 ores par conversation. Un enregistreur automatique constate le fonctionnement de ces appareils. La direction espère pouvoir ainsi recruter un nombre important de nouveaux abonnés. Elle ne peut naturellemeut pas compter grossir ainsi ses recettes, les taxes perçues ne suffisant pas à couvrir les frais de ce nouveau service. Il ne faut voir, dans cette innovation, qu'un symptôme de la concurrence acharnée que se font les deux entreprises rivales.

La compagnie générale ne possède pas de cabines publiques, mais elle perçoit sur ceux de ses abonnés — et ils sont nombreux — qui consentent à des étrangers l'usage de leur appareil, une annuité supplémen-

taire de 25 couronnes. Dans l'enceinte de la ville, l'utilisation de l'appareil d'un abonné comporte une taxe de 10 ores, qui reste acquise à l'abonné. Mais le téléphone est tellement vulgarisé à Stockholm que nombre d'abonnés, paraît-il, ne parviennent pas à couvrir leurs frais en consentant l'usage de leur appareil à des tiers.

Les taxes perçues par la Compagnie Bell correspondent à celles de la Compagnie générale. A noter toutefois que les engagements contractés auprès de la compagnie Bell ont une durée non pas de cinq, mais de trois ans.

Dans le service à petites et à grandes distances, les trois entreprises perçoivent une taxe par conversation. Cette taxe, sur les réseaux des deux sociétés privées, est de 20 à 50 ores, suivant la distance. La durée des conversations est fixée de trois à cinq minutes. L'entreprise de l'État, elle, a adopté le tarif suivant : s'il s'agit d'une communication entre deux localités éloignées dont l'une ne possède pas de bureau télégraphique, il n'est perçu aucune taxe. Si la communication a lieu entre deux localités pourvues de bureaux télégraphiques, il est perçu pour une conversation de trois minutes : jusqu'à une distance de 120 kilomètres, 15 ores ; jusqu'à 250 kilomètres, 30 ores ; au delà de 250 kilomètres, 50 ores. Il faut remarquer que la coexistence de plusieurs entreprises, qui se font une concurrence aussi vive, ne laisse pas d'entraîner des inconvénients pour le public, car les conversations d'un réseau à l'autre — indépendamment des sacrifices pécuniaires qu'ils comportent pour les intéressés — ne sont pas encouragées dans la mesure désirable. De plus, l'État, ainsi que nous l'avons dit plus haut, ne

consent l'utilisation de son réseau aux abonnés des compagnies privées qu'à ceux ayant adopté son installation spéciale (fils doubles et appareils perfectionnés). En outre, l'administration de l'État, indépendamment des taxes générales ci-dessus, perçoit sur les abonnés étrangers, pour chaque conversation, un droit supplémentaire de 20 ores. Pour se dérober à ces conditions onéreuses, nombre de commerçants, etc., désireux ou tenus d'utiliser les réseaux de l'État et appelés, par leurs affaires, à appartenir à l'un des deux autres ou aux deux autres réseaux, se trouvent réduits à devenir les abonnés de l'État et à acquitter ainsi un double, voire même un triple abonnement.

Les communications entre les trois réseaux urbains sont admises et ne donnent lieu à aucune taxe spéciale lorsque les deux réseaux privés entrent en jéu ; là où le réseau de l'État est intéressé, l'administration des télégraphes perçoit une indemnité annuelle de 10 couronnes par abonné.

Dans les provinces suédoises, les taxes téléphoniques varient tout autant qu'en Danemark, et oscillent entre les mêmes limites. Nous avons d'abord les deux grandes régions desservies par l'État et ayant Malmö et Gothenburg comme points centraux. L'abonnement au réseau urbain de Malmö, avec engagement pour une durée de dix ans, entraîne une annuité de 125 couronnes pour les cinq premières années, plus une annuité de 100 couronnes pour chacune des cinq dernières années, dans un rayon de 2 kilomètres autour du poste central. Pour les distances plus longues, ainsi que pour l'installation du double fil, les taxes supplémentaires sont les mêmes qu'à Stockholm. Quant aux abonnés à l'ancien réseau régional de la Compagnie

Bell, racheté par l'administration de l'État, ils acquittent les mêmes droits que du temps de la compagnie. Dans les localités dont les réseaux ont été plus tard rachetés par l'État et qui se trouvent rattachés au réseau régional de Schonen, l'abonnement annuel n'est que de 80 couronnes. Toutefois, les abonnés se trouvant dans ce cas doivent pourvoir eux-mêmes à la construction et à l'entretien de leur ligne ou en charger l'État moyennant une indemnité acquittée une fois pour toutes et qui s'élève en moyenne à 100 couronnes par kilomètre (le taux varie de 65 à 200 couronnes, suivant que l'on emploie du fil d'acier ou du fil de bronze), car, dans ces cas, l'État se charge seulement d'installer et d'entretenir le poste central de la localité intéressée et de fournir les appareils nécessaires aux abonnés. En outre, ces derniers doivent contribuer aux frais d'installation des lignes interurbaines pour lesquelles l'État ne pourvoit que jusqu'à concurrence d'une longueur de 2 kilomètres. La longueur en supplément est payée par l'ensemble des abonnés rattachés au poste central local. Les engagements ont une durée de cinq ans. Sur le réseau régional de Gothenburg, l'annuité est fixée à 80 couronnes, avec engagement de cinq ans et conducteur de rattachement ne dépassant point 2 kilomètres ; chaque kilomètre ou fraction de kilomètre au-dessus de 2 kilomètres entraîne une annuité supplémentaire de 20 couronnes.

Les autres taxes que comporte le service à petite et à grande distances sont identiques à celles du réseau de Malmö. La seule différence porte sur les indemnités acquittées par les abonnés branchés sur un même conducteur. Dans la région de Malmö, cette indemnité est de 125 couronnes, plus une annuité de 50 cou-

ronnes versée par chaque abonné ; dans la région de Gothenburg elle est de 80 couronnes, plus une annuité de 50 couronnes par abonné. Les manœuvres de liaison sont d'ordinaire faites par un des abonnés à l'aide d'un commutateur, etc. ; les commutateurs automatiques ne sont que rarement utilisés.

La plupart des autres réseaux téléphoniques de Suède se trouvent entre les mains d'entreprises dites unions téléphoniques. Ce sont des associations comprenant les intéressés d'une même localité ou d'un groupe de localités, qui installent avec leurs propres ressources un réseau, généralement rattaché à un réseau similaire voisin, et qui l'exploitent à frais communs. Quant aux entreprises ayant une autre forme, telles que sociétés par actions, elles constituent l'exception. Suivant l'étendue et le mode d'établissement du réseau, chaque participant paye une somme de 120 à 250 marks une fois versés, plus une annuité de 20 à 60 marks pour frais d'administration, d'exploitation et d'entretien du poste central et des succursales éventuelles. L'entretien de sa ligne est à la charge du participant. Les conversations au delà du réseau local font l'objet de taxes variant, selon la distance, entre 28 et 56 pfennigs qui sont partagés ou demeurent la propriété du réseau où la conversation a pris naissance. Sur les réseaux établis par des sociétés par actions, les intéressés servent un abonnement annuel lequel correspond, presque partout, à celui perçu par les compagnies privées du Jutland.

La société téléphonique de Christiania accorde des abonnements d'un an au prix de 80 couronnes dans un rayon de 1^{km},5 à partir de son bureau central; pour chaque demi-kilomètre de conducteur en plus,

il est perçu 7,5 couronnes dans l'intérieur de la ville, et, en dehors, 10 couronnes. Quant aux abonnés résidant très loin de la ville, on les réunit sur un même circuit au moyen d'un commutateur automatique; il y a parfois plus de cinq postes ainsi groupés, grâce à l'installation de postes centraux secondaires. Dans le cas ordinaire, le conducteur commun entraîne le paiement d'une annuité de 90 marks, plus, pour les longueurs au-dessus de $1^{km},5$, les taxes supplémentaires fixées pour les raccordements directs; en outre, les abonnés doivent acquitter chacun une somme de 30 à 50 marks, selon qu'ils habitent une même maison ou des immeubles différents. Si le raccordement a lieu au moyen de postes centraux secondaires, il est payé pour la ligne, suivant que la longueur varie de 5 à 10 kilomètres, une somme de 100 à 120 couronnes, sans compter les taxes prévues pour chaque abonné, et calculées comme s'il était relié au commutateur automatique.

La société téléphonique de Christiania possède une trentaine de cabines publiques installées dans des magasins très fréquentés, particulièrement dans des bureaux de tabac. Tout titulaire d'une de ces cabines acquitte, indépendamment d'un abonnement annuel de 90 marks, deux tiers des taxes qu'il perçoit du public, taxes qui sont de 10 ores par conversation dans les limites de la ville; il conserve pour lui le troisième tiers. En outre, sur les points les plus fréquentés (gares, bureaux de douane), se trouvent cinq cabines publiques à dispositif automatique, dont l'utilisation donne lieu à une taxe de 10 ores par conversation. Les abonnés ont le droit de transmettre et de recevoir leurs télégrammes par téléphones. A cette fin se trouve dans les

locaux du bureau télégraphique une cabine téléphonique desservie par un agent de la société. Chaque télégramme ainsi transmis comporte une taxe spéciale de 20 ores. Des abonnements sont en outre consentis, au taux de 15 couronnes par 100 télégrammes. Pour les abonnés ayant une correspondance télégraphique chargée, le montant de cet abonnement spécial est réduit.

Les raccords du réseau téléphonique de Christiania avec les réseaux des localités voisines se font généralement à frais communs. La taxe, sur ces lignes spéciales, est de 50 ores par conversation. Les taxes sont le plus souvent conservées par la société qui les encaisse; dans certains cas, pourtant, le partage a lieu par moitié. L'on songe actuellement à relier téléphoniquement certaines localités déjà desservies par le télégraphe. Les sommes suivantes seront payées annuellement à l'administration télégraphique, pour indemniser cette dernière de la diminution de ses recettes :

	kilom.	couronnes
Christiania-Gjövig	100	300
Christiana-Dröbak-Moss	60	3.000
Christiana-Sarpsborg	80	400
Skien-Porsgrund	12	500
Porsgrund-Langesund	20	200

Les autres réseaux téléphoniques de Norvège, locaux ou régionaux, sont ou la propriété d'associations plus ou moins importantes, ou la propriété de compagnies par actions. Dans le premier cas, les adhérents payent leurs frais de raccordement soit, en moyenne, de 100 à 120 couronnes, plus, de même qu'en Danemark et en Suède, une annuité de 20 à 60 couronnes

destinée à couvrir les frais d'administration, d'exploitation et d'entretien du poste central et des grandes lignes éventuellement existantes. Si l'entreprise se trouve entre les mains d'une société par actions, les abonnés acquittent une annuité variant entre 40 et 100 couronnes, suivant l'étendue et les qualités de construction du réseau.

Les raccordements entre les divers réseaux locaux ou régionaux sont établis à frais communs par les intéressés ou faits par des entreprises. Dans le premier cas il est perçu, par conversation, une taxe pouvant s'élever jusqu'à 50 ores; dans le second, les abonnés acquittent une annuité allant jusqu'à 50 couronnes. Les raccordements de ce genre, dans les deux cas, ne sont pas très étendus et servent seulement à communiquer entre des localités voisines. L'on ne rencontre, en Norvège non plus, aucune grande ligne téléphonique, pour les raisons précédemment énumérées.

Si l'on examine ces tarifs si divers, l'on reconnaît que, dans les trois pays scandinaves, les taxes perçues par les entreprises provinciales sont généralement modestes et en partie bien inférieures aux taxes allemandes. Ce fait s'explique facilement. Les dépenses de premier établissement faites par ces entreprises pour l'installation de leurs réseaux et celles que comportent ensuite l'administration, l'exploitation et l'entretien sont bien inférieures aux débours que l'on doit faire en Allemagne du même chef. Ainsi le raccordement d'un abonné, sur les réseaux scandinaves, en raison de l'emploi de matériaux de qualité médiocre, n'entraîne qu'une dépense d'une centaine de marks, de 200 marks au maximum, tandis qu'en Allemagne un raccordement de même espèce revient à 800 marks

et plus. En outre, les entreprises scandinaves n'ont à couvrir que les frais d'exploitation du poste central augmentés de quelques minimes dépenses pour des opérations d'un caractère technique; car, d'une part, la gestion est pratiquée d'une manière très loyale, et, d'autre part, le réseau n'est entretenu que dans la mesure nécessaire pour assurer son fonctionnement. Un entretien régulier, tel qu'il se pratique en Allemagne, constitue l'exception. Enfin le service est partout assuré par des dames, lesquelles, pour un travail de 6 à 7 heures par jour, se contentent d'une rétribution quotidienne de 1 mark à $1^{m},50$, soit à peu près la moitié des chiffres payés en Allemagne pour le traitement du personnel. En raison du peu d'importance des frais de premier établissement et des dépenses courantes qui suivent, l'on s'explique que les entreprises par actions des trois pays scandinaves, malgré le chiffre modéré de leur taxe, obtiennent encore des excédents de recettes.

Dans les pays scandinaves, les seuls réseaux urbains de Copenhague, Stockholm et Christiania, peuvent être comparés aux installations allemandes de même espèce quant à la construction, à l'exploitation et aux tarifs. Comme on vient de le dire, les frais de raccordement d'un abonné, en Allemagne, s'élèvent, suivant les cas, à 800 marks au moins; tandis que dans les trois capitales scandinaves — ensuite de l'emploi de matériaux moins chers — ces mêmes frais ne dépassent pas, en moyenne, le chiffre de 300 marks. En outre, les dames attachées au service téléphonique reçoivent un traitement mensuel de 45 à 60 marks, tandis qu'en Allemagne elles touchent par mois de 75 à 90 marks.

FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX TÉLÉPHONIQUES.

Le fonctionnement des réseaux est naturellement plus ou moins bon suivant le degré de perfection des installations. Dans les capitales et dans quelques villes de province des trois pays scandinaves, possédant des « multiples », les communications s'effectuent d'une manière satisfaisante et la voix est transmise suffisamment claire. Cependant l'isolement imparfait des fils et le système d'appels au moyen de machines magnétos amènent des sons parasites qui influent à des degrés divers sur la clarté de la voix. Sur les réseaux de moyenne importance, construits avec moins de soin et d'expérience, ces dernières perturbations se remarquent plus intenses et, par suite, entravent davantage les communications. Ces derniers réseaux répondent pourtant encore aux besoins des abonnés locaux, mais ils sont mal outillés pour les communications à grande distance. Les seules installations parfaites à ce point de vue sont celles de l'administration des télégraphes de Suède et celles installées avec la coopération des sociétés privées de Copenhague, de Stockholm et de Christiania : leurs lignes formées de bons matériaux sont correctement construites.

En terminant on citera les données qu'on a pu recueillir sur le nombre des réseaux dans les trois pays scandinaves. Encore ne doit-on accepter ces données que sous toutes réserves, les entreprises privées ne fournissant pas de chiffres officiels sur leurs opérations.

On considère comme vraisemblable que le Dane-

mark comptait, en 1890, des réseaux téléphoniques dans 300 localités environ, avec un total de 12.000 abonnés : la Suède dans 1.500 localités avec 18.000 abonnés, dont 5.000 appartenant à une soixantaine de réseaux de l'État; la Norwège, dans une centaine de localités avec 6.000 abonnés.

On comprend ici toutes les localités possédant des réseaux publics, n'eussent-ils que trois abonnés.

CHRONIQUE

Pont roulant à commande électrique (*).

La substitution d'une commande électrique aux modes d'attaque actuels des ponts roulants, en usage dans les ateliers, supprime divers inconvénients présentés par les ponts à commande directe, funiculaires ou à arbre carré et peut s'effectuer sur n'importe quel pont existant sans modifications bien importantes. Elle donne d'excellents résultats, à la condition, bien entendu, d'employer des appareils électriques soigneusement construits, dont le fonctionnement soit sûr et dont les dispositions soient bien étudiées en vue de l'emploi.

La question a donc une certaine importance, et nous pensons qu'il ne sera pas sans intérêt de dire quelques mots de l'application que MM. Schneider et Cie ont faite récemment de ce mode de commande à leurs ponts et notamment à un pont de 60 tonnes de leurs ateliers d'artillerie.

Ce pont desservait primitivement une travée de 15 mètres de largeur sur 100 mètres de longueur; mû par câbles, il ne pouvait à l'origine soulever plus de 35 tonnes d'une manière continue avec une vitesse de $0^{m},60$ par minute. Sous cette charge, la vitesse de translation était de 15 mètres par minute. On constatait, dès qu'on dépassait 35 à 40 tonnes, que le câble glissait sur toutes les poulies et se brûlait rapidement. La durée de ce câble ne dépassait d'ailleurs guère huit à dix mois.

Tout dernièrement, le problème se posa de lui faire desservir 70 mètres de plus, soit en tout 170 mètres. Il ne fallait plus songer à continuer à se servir du câble, dont l'inertie au démarrage se serait trouvée sensiblement augmentée. Il fallait pouvoir faire les manœuvres plus rapidement, tout en utilisant la puissance maximum du pont.

(*) Extrait du *Génie civil*, t. XIX, 1891, p. 324.

Les résultats très satisfaisants obtenus sur un premier pont de 15 tonnes conduisirent à adopter pour la commande du pont de 60 tonnes des machines électriques Ganz construites au Creusot.

Voici quelques détails sur les dispositions adoptées :

Une dynamo Ganz Δ 5 (à courant continu) de 45.000 watts, établie sur le châssis du pont, du côté opposé aux mouvements, attaque l'arbre des embrayages par une courroie ayant comme longueur la largeur de la travée. Le courant arrive à la dynamo par deux câbles nus de 12 millimètres fixés aux deux extrémités de l'atelier et soutenus tous les 10 mètres par des poulies en porcelaine; la prise de courant s'effectue simplement par deux frotteurs fixés sur le pont.

Les appareils accessoires de mise en marche et de contrôle, tels que rhéostats, commutateurs, ampèremètre et voltmètre, sont placés dans la cage et à la portée du pontonnier.

Dans ces conditions, le pont soulève facilement 40 tonnes avec une vitesse de $2^{m},20$ par minute et 60 tonnes avec 1 mètre; la vitesse de translation est d'environ 27 mètres, de sorte que, pour franchir la longueur totale de l'atelier, il faut environ 6 minutes.

Grâce au mode d'excitation des dynamos, le voltage de la transmission de force, qui s'effectue sous 220 volts, est constant, et les écarts de vitesse de la réceptrice entre la marche à vide et la pleine charge ne dépasse pas 5 p. 100. Il n'y a d'ailleurs aucune précaution spéciale à prendre pour la manœuvre du pont, et on peut lui appliquer brusquement la charge maximum sans le moindre inconvénient.

En dehors de ces avantages, la transmission électrique a permis d'adjoindre un appareil de sécurité ayant pour but d'éviter toute chute accidentelle de la chaîne du pont en cas de descente prolongée ou involontaire. Cet appareil coupe le courant principal, qui, au moment de la descente, a toujours une faible intensité, tout en maintenant la dynamo excitée, d'où un arrêt très rapide dans la descente. Ce but n'eût été atteint par des moyens mécaniques qu'au prix de nombreuses complications.

F. Desquiens, *ingénieur civil.*



Le mica.

On annonce la découverte d'importants gisements de mica auprès de la ville de Muldiva, en Australie.

(*Telegraphic Journal and Electrical Review*, 20 novembre 1891.)

Sur un étalon thermo-éléctrique de force électromotrice.

Par M. Henri BAGARD.

On a déjà pensé à utiliser les couples thermo-électriques comme étalons de force électromotrice. Mais ceux qu'on a employés jusqu'ici étant formés de deux métaux, les forces électromotrices ainsi obtenues sont extrêmement faibles et varient avec les échantillons des métaux employés.

Je me suis proposé de rechercher si un élément thermo-électrique constitué par deux liquides, c'est-à-dire deux corps présentant une structure invariable, possède, pour deux températures déterminées des surfaces de contact, une force électromotrice bien définie.

En prenant comme liquides un amalgame de zinc contenant 0,0005 de zinc pour 1 de mercure, et une solution de sulfate de zinc saturée à zéro, j'ai obtenu une force électromotrice considérable, l'élément étant impolarisable.

Je dissous le zinc dans le mercure sous une couche de sulfate de zinc qui empèche l'oxydation et que j'enlève rapidement au moyen de papier buvard au moment de me servir de l'amalgame.

L'appareil est construit de la façon suivante : dans trois tubes A, B, C, fermés à leur partie inférieure, se trouvent superposés l'amalgame et le sulfate de zinc; le tube A est porté à la température d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique, température que je désignerai par T; les tubes B et C sont maintenus dans la glace fondante. Le sulfate de A communique avec celui de B par un siphon rempli de ce liquide; de même, les amalgames de A et C communiquent

entre eux par un siphon rempli d'amalgame. Deux électrodes de platine isolées plongent dans les amalgames B et C, entre lesquelles il n'existe, par conséquent, que la différence de potentiel thermo-électrique. Le sulfate qui recouvre l'amalgame C est uniquement destiné à protéger celui-ci contre l'altération qu'il subirait au contact de l'air; enfin, le sulfate A est recouvert par une couche de paraffine qui supprime l'évaporation. Dans ce couple, l'amalgame chaud est à l'extérieur le pôle positif.

Plusieurs couples, préparés isolément et comparés entre eux à différentes époques, ont toujours donné une force électromotrice identique à 0,0001 volt près, et sont restés impolarisables. Le couple peut donc servir d'étalon.

J'ai étudié la marche du couple lorsque, l'une des surfaces de contact étant maintenue à 0°, l'autre est portée à une température t, variant entre 0 et T. Voici quelques-uns des nombres ainsi obtenus pour $T = 99°,3$:

t	15°7	33°6	40°7	48°6	54°3
$f(t) = \frac{E_0^t}{E_0^T}$	0,148	0,320	0,392	0,470	0,528

En prenant $T = 99°,3$ la fonction $f(t)$ est rigoureusement représentée par la formule à deux termes

$$f(t) = 0,00930.t + 0,00000774.t^2. \quad (1)$$

Ainsi, la courbe représentative est, comme dans le cas de la plupart des couples bimétalliques, une branche de parabole, et cette courbe tourne sa convexité vers l'axe des températures.

J'ai ensuite mesuré en valeur absolue la force électromotrice E_0^T du couple étalon, par compensation avec la différence de potentiel produite aux extrémités d'une résistance égale à l'ohm légal, par un courant convenable dont je mesurais l'intensité par l'électrolyse de l'azotate d'argent, à l'aide d'un électromètre capillaire sensible au 1/10000 de volt.

J'ai ainsi trouvé, comme moyenne de plusieurs mesures et en me servant de la formule (1),

$$E_0^{100} = 0,1167 \text{ volt},$$

l'erreur à craindre sur le résultat étant de 0,0001 volt. La valeur de E_0^{100} est donc environ cent fois plus grande pour le couple étudié que pour le couple fer-cuivre, qui donne environ 0,0011 volt. En rapprochant la valeur de E_0^{100} de la relation (1), on obtient l'expression de la force électromotrice pour les températures comprises entre 0° et 100°,

$$(2) \qquad E_0^t = 0,001077t + 0,00000090t^2.$$

Pour déterminer l'influence de la richesse en zinc de l'amalgame, j'ai comparé, à l'étalon, des couples renfermant des amalgames différents, par la méthode d'opposition déjà employée.

Lorsque la proportion de zinc est inférieure à 0,00005, l'élément est polarisable. Pour des teneurs plus fortes, l'élément devient impolarisable et la force électromotrice diminue d'une façon continue à mesure que la proportion de zinc augmente, ainsi que le montrent les nombres du tableau suivant :

Masse de zinc pour 1 de mercure. . .	0,00025	0,00035	0,00045
	0,00050	0,00055	8,00075
E_0^{100}.	0,1197	0,1183	0,1171
	0,1167	0,1164	0,1150

En résumé, le couple que j'ai étudié est absolument constant entre deux températures données; il peut être fermé sans se polariser, et sa force électromotrice entre les températures 0 et t° sera donnée par la formule (2). Enfin il n'est pas nécessaire d'apporter une grande précision dans la pesée du zinc à dissoudre dans un poids donné de mercure, puisque le tableau précédent montre que la variation de E_0^{100} n'atteint pas 0,0001 volt, quand la proportion de zinc varie de 0,00001 ou de 1/50 de sa valeur (*).

(*Comptes rendus*, 14 *décembre* 1891.)

Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1892.

Note de M. Th. MOUREAUX, présentée par M. MASCART.

Parc Saint-Maur. — Les observations magnétiques sont

(*) Ce travail a été exécuté au Laboratoire de physique de la Faculté des sciences de Nancy.

continuées avec les mêmes appareils et réduites d'après les mêmes méthodes que les années précédentes. Les courbes relevées régulièrement au magnétographe sont dépouillées par toutes les heures du jour, et les repères sont vérifiés chaque semaine par des mesures absolues effectuées sur le pilier du jardin. On vérifie de même par de fréquentes graduations la sensibilité des trois appareils de variations.

Les valeurs absolues des éléments magnétiques au 1er janvier 1892 sont déduites de la moyenne de toutes les observations horaires obtenues pendant les journées du 31 décembre 1891 et du 1er janvier 1892, et rapportées à des mesures absolues effectuées les 27, 29, 31 décembre 1891 et 2 janvier 1892. La variation séculaire des divers éléments en 1891 a été calculée par comparaison entre les valeurs suivantes et celles qui ont été données pour le 1er janvier 1891 (*).

Éléments.	Valeurs absolues au 1er janv. 1892.	Variation séculaire en 1891.
Déclinaison	15°30′,7	— 5′,2
Inclinaison	65° 9′,0	— 1′,6
Composante horizontale	0,19580	+ 0,00026
Id. verticale	0,42278	+ 0,00006
Force totale	0,46592	+ 0,00016

L'observatoire du Parc Saint-Maur est situé par 0° 9′ 23″ de longitude est et 48° 48′ 34″ de latitude nord.

Perpignan. — L'observatoire météorologique et magnétique de Perpignan, dirigé par M. le Dr Fines, est situé par 0° 32′ 45″ de longitude est et 42° 42′ 8″ de latitude nord. Les observations magnétiques y sont faites au moyen d'instruments semblables à ceux de l'observatoire du Parc Saint-Maur et calculées d'après les mêmes méthodes.

Les valeurs des éléments magnétiques au 1er janvier 1892, déduites des vingt-quatre observations horaires relevées au magnétographe et rapportées aux mesures absolues, faites par M. Cœurdevache, les 29, 30 et 31 décembre 1891, sont les suivantes :

(*) *Comptes rendus*, t. CXII, p. 37, 1891.

Éléments.	Valeurs absolues au 1er janv. 1892.	Variation séculaire en 1890.
Déclinaison.	14°18',8	— 5',3
Inclinaison.	60°15',1	— 1',1
Composante horizontale	0,22248	+ 0,00006
Id. verticale.	0,38930	— 0,00017
Force totale	0,44839	— 0,00011

(*Comptes rendus*, 4 janvier 1892.)

Influence des décharges électriques pendant les orages, sur les appareils enregistreurs du magnétisme terrestre.

Note de M. Em. MARCHAND, présentée par M. MASCART.

M. Moureaux a signalé récemment (Ciel et terre, du 1er décembre 1891), la coïncidence de quelques coups de foudre, ayant frappé des points voisins de l'observatoire du Parc Saint-Maur, avec certains petits mouvements des barreaux des magnétomètres enregistreurs, mouvements analogues à ceux qu'on leur imprime pour avoir des repères horaires. Cette coïncidence a été observée fréquemment à l'observatoire de Lyon, et, après la communication de M. Moureaux, il nous a paru intéressant de faire la statistique complète des cas assez nombreux où elle s'est produite, depuis l'année 1887.

Au moyen du journal météorologique de l'observatoire, nous avons dressé la liste de tous les orages ayant donné de forts coups de tonnerre, ou des coups de foudre sur des points peu éloignés ; les décharges électriques, dont l'heure a été ainsi notée, se sont produites à des distances variant entre 150 mètres et 2.000 mètres environ ; elles sont au nombre de soixante-treize pour les cinq dernières années. Nous avons ensuite recherché, dans les courbes magnétiques, la trace des oscillations qu'elles avaient pu imprimer aux barreaux ; nous avons trouvé :

1° Quarante cas où cette trace est très nette et facilement visible dans un examen rapide des courbes, où, par conséquent, elle peut être aperçue sans que l'on sache d'avance à quelle heure les oscillations ont dû se produire ;

2° Quinze cas où la trace des mouvements oscillatoires, quoique légère, est encore bien visible quand on connaît d'avance l'heure de la perturbation ;

3° Treize cas où les oscillations sont moins certaines et ne se traduisent sur la courbe que par un défaut de netteté pendant quelques minutes ;

4° Enfin, cinq cas seulement où l'on n'aperçoit absolument aucune trace d'oscillation des barreaux.

Les oscillations ne sont pas, en général, de même amplitude dans les trois instruments, déclinomètre, bifilaire et balance; leur trace manque même le plus souvent dans les courbes de ce dernier appareil, ce qui tient sans doute à la rapidité avec laquelle s'amortissent et s'éteignent les oscillations de son barreau. Le déclinomètre et le bifilaire, dont la sensibilité est à peu près la même, présentent souvent des différences d'amplitudes très notables ; parfois l'oscillation est très marquée à l'un d'eux et à peine perceptible à l'autre ; d'autrefois, elle a presque la même valeur dans les deux appareils.

Il ne paraît pas exister de relation simple entre la distance à laquelle se produit la décharge et l'amplitude des oscillations qu'elle détermine : des coups de foudre très violents, sur des points rapprochés, n'ont produit parfois qu'un trouble à peine perceptible des appareils ; d'autres fois, on constate des oscillations assez fortes alors que les observations d'orages indiquent seulement du tonnerre fort, mais encore assez éloigné.

(*Comptes rendus*, 4 janvier 1892.)

Sur la perturbation magnétique du 13-14 février.

Note de M. Mascart.

Les enregistreurs des observatoires de Nice, Toulouse, Clermont et Besançon ont reproduit également cette perturbation, avec toutes les circonstances constatées par les stations de Perpignan, Lyon, Nantes et Parc Saint-Maur ; les détails du phénomène feront l'objet d'une étude ultérieure.

D'autre part, l'aurore boréale correspondante, signalée

d'abord aux tats- n s, a été également observée en Europe.

Le 14 février, de 1 heure à 1h 10 du matin (T.m. de Paris), M. A. Forel voyait à Morges une très belle aurore boréale ; l'employé du télégraphe de la ligne Morges-Rolle fut réveillé vers minuit 25 minutes par un appel spontané de la sonnerie.

Le même jour, entre minuit et 1 heure du matin, M. P. Lefebvre observait à Troyes :

... une aurore boréale d'une assez grande intensité, puisque le phénomène était parfaitement visible malgré l'éclat de la pleine lune.

Une lueur pourpre s'est d'abord montrée dans la direction du Nord ; à mesure qu'elle s'élevait, le centre s'est déplacé sensiblement de l'est à l'ouest. Au moment du plus grand éclat, des rayons verticaux plus brillants et plus blancs, se sont montrés à plusieurs reprises. Enfin le phénomène a disparu derrière des nuages, après avoir subi un nouveau déplacement en sens inverse du premier.

M. de Roquigny-Adanson m'informe que l'aurore a été observée à Parc-de-Baleine par un garde-chasse :

Le 14, à 1 heure du matin, toute la région Nord du ciel, où l'on distinguait des bandes horizontales de nuages, apparaissait teinte de sang. Par endroits, la teinte était d'un rouge noirâtre, d'un rouge sang de bœuf.

D'après les points de repère indiqués par l'observateur, les lueurs dégradées, affaiblies, de l'aurore s'élevaient à 13 ou 14 degrés au-dessus de l'horizon.

L'aurore s'étendait à peu près du NW 1/4 sur N au NE 1/4 sur N, embrassant ainsi un arc d'environ 70 degrés.

Son intensité lumineuse, comparable à celle d'un vaste incendie au début de l'observation, diminua bientôt progressivement et les dernières lueurs s'évanouirent à 1h 30 du matin.

On signale aussi l'apparition de l'aurore dans la Méditerranée, au voisinage des côtes de Provence, à Rome, Bruxelles, Londres, au Canada, aux États-Unis au-dessus du 36e parallèle, etc.

Les communications télégraphiques ont été troublées dans plusieurs pays ; sur certaines lignes des États-Unis, les cou-

rants étaient assez intenses pour que la transmission des dépêches ait pu se faire sans le secours de piles électriques.

(*Comptes rendus*, 22 février 1892.)

Vitesse de l'électricité dans les câbles sous-marins.

La détermination, par des observations directes faites à Greenwich, de la longitude de Montréal, exigeait la connaissance exacte du temps qu'un signal télégraphique prenait à traverser l'Atlantique. A cet effet, la ligne aérienne de Montréal à Canso (Nouvelle-Ecosse) a été reliée à un câble sous-marin aboutissant à Waterville, en Irlande. Un signal parti de Montréal pouvait parcourir le câble jusqu'à Waterville, puis revenir ensuite à Montréal. Un chronographe, en communication avec les appareils transmetteurs et récepteurs, mesurait le temps. Sur 100 signaux expédiés, le temps moyen pour traverser l'Océan dans les deux sens (12 800 kilomètres) a été de 1,05 seconde.

(*Bulletin international de l'Électricité*, 22 février 1892).

Sur la perturbation magnétique et l'aurore boréale du 6 mars 1892.

Note de M. Th. MOUREAUX, présentée par M. MASCART.

Une nouvelle perturbation magnétique, moins intense toutefois que celle du 13 au 14 février, a été constatée à l'observatoire du parc Saint-Maur, dans la nuit du 6 au 7 mars; elle a été accompagnée d'un aurore boréale.

Les courbes magnétiques du 5 mars avaient été très régulières; mais, dans la journée du 6, les valeurs des trois éléments s'écartent notablement de la normale; la déclinaison et la composante horizontale se tiennent au-dessus, et la composante verticale au-dessous de leurs valeurs moyennes. A partir de 5 heures du soir, la perturbation augmente d'intensité; entre $5^h 35^m$ et 6 heures, la déclinaison diminue brusquement de 40′; la composante horizontale diminue

également, tandis que la composante verticale augmente. Les aimants restent très agités toute la nuit, l'oscillation principale se produit à $9^h 10^m$: à ce moment, tous les éléments subissent une variation brusque, coïncidant avec l'apparition d'une aurore boréale.

Prévenu par les écarts irréguliers constatés entre 5 heures et 6 heures du soir aux appareils à lecture directe, j'ai porté mon attention sur le ciel, qui était parfaitement pur.

Vers $6^h 30^m$, on commençait à voir à l'horizon nord une bande sombre de 5° à 6° de hauteur et s'étendant à 30° environ de part et d'autre du nord magnétique ; immédiatement au-dessus de ce segment obscur, une zone vivement éclairée d'une lumière blanche s'élevait à 20° ou 25° au-dessus de l'horizon. Cet aspect caractéristique différait nettement, malgré l'éclat de la lune qui en affaiblissait le contraste, avec le ton uniforme du ciel dans les autres directions. A $9^h 10^m$, un faisceau de rayon lumineux, d'une teinte rouge foncé, apparut subitement au nord magnétique, se développant en éventail très rapidement et traversant le ciel du nord au sud en passant par le zénith ; le phénomène ne dura que quelques minutes. Lorsque l'observateur de service, que j'avais prié de veiller, vint me prévenir, les rayons disparaissaient déjà ($9^h 15^m$), mais toute la région nord-ouest du ciel restait empourprée d'une teinte uniforme dont l'éclat diminuait visiblement ; à $9^h 20^m$, on n'apercevait plus aucune trace de coloration. L'observateur n'a rien remarqué de particulier plus tard dans la nuit.

La grande tache signalée lors de la perturbation du 13 février a disparu le 20, et, après une demi-rotation du soleil, s'est montrée de nouveau le 4 mars, très diminuée en étendue ; les 5, 6 et 7, on constate autour de cette tache principale quelques autres petites taches au milieu d'une vaste zone de facules.

(*Comptes rendus*, 7 mars 1892.)

Sur la coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique.

Note de M. E. Bouty, présentée par M. Lippmann.

La méthode qui m'a servi à mesurer la constante diélec-

trique du mica à haute température s'applique, sans modification essentielle, aux diélectriques doués d'une faible conductibilité électrolytique.

Deux plateaux métalliques, formant un système rigide, sont séparés par de très petites cales de mica ; après avoir mesuré la capacité c du condensateur à lame d'air ainsi constitué, on immerge le système dans la masse diélectrique et conductrice ; à l'aide du pendule de torsion qui m'a servi antérieurement, on ferme le circuit du condensateur sur une pile de force électromotrice E et de résistance négligeable pendant des temps t connus et très courts, et l'on recueille, dans un microfarad, la quantité Q d'électricité qui passe. On trouve qu'elle est exactement représentée par la formule

$$Q = E(C + at),$$

dans laquelle a et C sont des constantes. La constante diélectrique k, rapportée à un temps nul, est

$$k = \frac{C}{c}$$

J'ai d'abord appliqué cette méthode à l'essence de térébenthine et à la benzine pures du commerce, dont la conductibilité est déjà très grande par rapport à celle du mica. Pour la benzine, par exemple, j'ai trouvé

$$k = 2,25,$$

c'est-à-dire exactement la moyenne des nombres donnés par MM. Silow, Quincke, Palaz et Negreano.

Il eût été particulièrement intéressant d'appliquer cette méthode directe à l'eau distillée qui, d'après MM. Cohn et Arons, Tereschin, Cohn, possède une constante diélectrique quarante fois supérieure au carré de l'indice moyen. Tout récemment encore M. Rosa a trouvé

$$k = 75,7\,;$$

il annonce, en outre, que ce résultat n'est pas modifié par la présence de traces de sels en dissolution.

Malheureusement la conductibilité de l'eau distillée est beaucoup trop grande, et l'on serait amené à mesurer des temps t plusieurs centaines de fois inférieurs à la limite d'exactitude de mon pendule ($0^s,0001$). Cette circonstance ne

se présentera pas avec la glace qui, dès la température de 0°, conduit une douzaine de mille fois moins bien que l'eau et dont la résistance croît encore dans un rapport assez considérable à mesure que l'on abaisse la température.

A l'aide d'un bain de chlorure de méthyle, j'ai fait congeler lentement et à partir du fond du vase une masse d'eau distillée bouillie dans laquelle était immergé mon condensateur. La congélation terminée et la température de — 23° bien établie, l'expérience n'offre pas plus de difficultés qu'avec la benzine, et je trouve

$$k = 78$$

Eu égard à l'énorme résistance de la couche de glace et à la très faible durée des mesures, la polarisation des électrodes ne peut ici jouer un rôle plus marqué que dans le cas de la benzine par exemple : l'existence du très grand pouvoir diélectrique de la glace est donc mise hors de doute.

Si on laisse remonter la température à partir de — 23°, la conductibilité de la glace augmente beaucoup sans que sa constante diélectrique paraisse varier bien sensiblement. Il en est de même si, avant la congélation, on fait dissondre dans l'eau distillée une trace de sel marin, ou si l'on substitue à l'eau distillée l'eau de Seine filtrée, dont la glace peut conduire jusqu'à quatre-vingts fois mieux que la glace d'eau distillée.

Il résulte de ces expériences que le pouvoir diélectrique et la conductibilité électrolytique sont susceptibles de coexister dans un même corps, conformément aux idées de Maxwell ; de plus, la constante diélectrique varie peu dans des conditions où la conductibilité croît dans des proportions énormes. Par exemple, il est bien remarquable que l'eau et la glace aient sensiblement la même constante diélectrique, tandis que la conductibilité a pu varier dans le rapport de 1 à 10^5 ou 10^6.

(*Comptes rendus*, 7 mars 1892).

Gérant : Ve DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 **Mai-Juin**

SUR LES LOIS DE SIMILITUDE EN ÉLECTRICITÉ

Nous avons démontré, dans un article précédent (*), un théorème général au sujet des lois de similitude en physique et en mécanique, et nous en avons fait une application à la loi de sir W. Thomson relative à la propagation du courant sur un câble télégraphique.

Le procédé que nous avons employé pour retrouver la formule de Thomson :

$$i = \frac{E}{R} \varphi \left(\frac{t}{CR} \right) \tag{1}$$

peut être regardé comme un moyen mnémotechnique et, à ce point de vue, peut être de quelque utilité dans l'étude de diverses questions. Mais il offre, au point de vue de l'enseignement, un avantage encore plus important ; car, n'exigeant point la connaissance des mathé-

(*) *Annales télégraphiques*, 1892, p. 25.

matiques spéciales, il peut être considéré comme une méthode de calcul élémentaire (*). Ainsi une méthode élémentaire d'exposition de la théorie de sir W. Thomson consistera à démontrer la formule (1) comme nous l'avons fait, et à compléter ce premier résultat par la donnée d'une table numérique ou d'une courbe permettant de calculer, pour chaque valeur de la variable $\frac{t}{CR}$, la valeur correspondante de la fonction φ. Quant au calcul même de la forme analytique de cette fonction φ, il ne peut être rendu élémentaire.

Dans la présente note, nous nous proposons d'indiquer de nouvelles applications de la même méthode aux phénomènes électriques et magnétiques. A cet effet, il ne sera peut-être pas inutile de démontrer tout d'abord l'existence, en électricité et en magnétisme, d'une quatrième unité fondamentale, que nous n'avons fait que signaler dans le précédent article.

SUR LA QUATRIÈME UNITÉ FONDAMENTALE EN ÉLECTRICITÉ.

On peut diviser les formules d'électricité et de magnétisme en deux catégories :

1° Celles qui expriment les lois fondamentales des

(*) M. Mercadier, qui, dans son cours d'électricité à l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes, tend à simplifier constamment la théorie et à lui donner une forme aussi élémentaire que possible, tout en lui maintenant sa rigueur, nous a fait connaître qu'il traite certaines questions, — telles que la charge d'un condensateur à travers une résistance, ou le régime variable du courant dans un circuit possédant une self-induction, — en en facilitant la démonstration par des considérations d'homogénéité.

actions électriques et magnétiques :

$$(2)\quad \begin{cases} f = k\dfrac{qq'}{r^2} & \text{(loi de Coulomb, électrostatique),} \\ f = k'\dfrac{\mu\mu'}{r^2} & \text{(loi de Coulomb, magnétisme),} \\ f = k''\dfrac{\mu\, i\, ds}{r^2}\sin\alpha & \text{(loi de Laplace, électromagnétisme),} \\ f = k'''\dfrac{ii'\,ds\,ds'}{r^2}\left(\cos\varepsilon - \dfrac{3}{2}\cos\theta\cos\theta'\right) & \text{(loi d'Ampère, électrodynamique);} \end{cases}$$

2° Celles qui résultent de définitions ou de théorèmes, par exemple :

$$(3)\quad \begin{cases} qV = W \\ it = q \\ CV = q \\ Ri = V \\ \dfrac{1}{2}Li^2 = W. \end{cases}$$

Dans les formules (2), q et q' désignent deux quantités (ou masses) d'électricités, μ et μ' des quantités (ou masses) de magnétisme, i et i' des intensités de courants parcourant respectivement des éléments de circuits de longueurs ds et ds' ; α, ε, θ et θ' désignent des angles, qu'il est inutile de définir ici ; k, k', k'', k''' des coefficients dépendant seulement de la nature du milieu (air ou autre milieu diélectrique ou magnétique) ; enfin f désigne la force qu'exercent, l'une sur l'autre, les quantités d'électricité q et q', situées à une distance réciproque r ou bien les quantités de magnétisme μ et μ', etc. — Dans les formules (3), W représente le travail dépensé pour amener une quantité q d'électricité du potentiel zéro au potentiel V (par définition du potentiel V), ou bien l'énergie d'un circuit parcouru par un courant d'intensité i (cela résulte de la définition du coefficient

de self-induction L); q représente la quantité d'électricité débitée par un courant i dans le temps t (par définition de l'intensité i), ou bien la charge d'un conducteur C isolé dont le potentiel est V (par définition de la capacité C); enfin V désigne la chute de potentiel le long d'un conducteur R parcouru par un courant i (définition de la résistance R).

Au sujet des coefficients k'' et k''', nous rappellerons: 1° que k'' est en réalité une constante absolue indépendante de la nature du milieu, et que l'on en fait un coefficient purement numérique égal à l'unité:

$$k'' = 1; \tag{4}$$

2° que k''' est relié à k' par la relation:

$$k' k''' = 2 \tag{4 bis}$$

de telle sorte que les lois expérimentales n'introduisent en réalité que deux coefficients distincts k et k'.

De la comparaison des formules (2) entre elles on déduit que le produit des coefficients k et k' a les dimensions du carré d'une vitesse, de telle sorte que si l'on pose:

$$k k' = a^2 \tag{4 ter}$$

a est un coefficient dépendant de la nature du milieu et qui a les dimensions d'une vitesse. Mais rien ne permet jusqu'ici de rattacher sans hypothèse l'un des coefficients k ou k' aux trois unités fondamentales de la mécanique et de lui attribuer des dimensions de la forme $L^\alpha M^\beta T^\gamma$. C'est grâce aux hypothèses ou conventions arbitraires qui servent à définir les systèmes d'unités dits *électrostatique* et *électro-magnétique* que, dans ces systèmes, k et k' ont des dimensions de cette

forme. Les formules (2) et (3) et toutes celles qui en découlent sont indépendantes de ces hypothèses et des systèmes arbitraires d'unités auxquels elles conduisent.

Le coefficient k apparaît ici comme une quantité physique d'une nature actuellement inconnue. Désignons par K soit l'unité à laquelle on rapporte cette quantité, soit son symbole de dimensions. On peut choisir cette unité d'une manière entièrement arbitraire, au même titre que les trois unités fondamentales de longueur, de temps et de masse. En d'autres termes, cette unité jouera le rôle d'une quatrième unité fondamentale, et le symbole K sera irréductible comme L, M, T. Les formules (2), (3), (4 *bis*) et (4 *ter*) permettront de calculer les dimensions des coefficients k' et k''', des quantités d'électricité q et de magnétisme μ, de l'intensité de courant i, du potentiel V, etc. Ces dimensions seront de la forme

$$L^\alpha M^\beta T^\gamma K^\delta.$$

Il est clair que comme quatrième unité fondamentale au lieu de prendre K, on pourrait choisir l'unité K' à laquelle est rapporté le coefficient k', ou bien l'unité Q à laquelle est rapportée une quantité d'électricité, ou l'unité C de capacité (comme dans l'exemple traité dans le précédent article), ou toute autre unité électrique ou magnétique. L'unité que l'on aura intérêt à choisir comme fondamentale variera suivant les circonstances.

Par ce qui a été dit jusqu'ici et par les exemples suivants on comprendra combien il est avantageux, dans les questions d'homogénéité, de conserver cette quatrième unité fondamentale qui se présente naturelle-

ment dans l'étude de l'électricité et du magnétisme, au lieu de vouloir la rattacher par une hypothèse aux trois unités fondamentales de la mécanique.

DÉMONSTRATION DE DIVERSES FORMULES

Vitesse de propagation des ondes électro-magnétiques. — Lorsque l'on considère les actions entre corps électrisés ou aimantés, non pas comme s'exerçant instantanément et à toute distance, mais comme se transmettant des uns aux autres de proche en proche à travers le milieu interposé, on est conduit à admettre que cette transmission a lieu avec une vitesse finie comme celles du son et de la lumière. Il semble en outre que cette vitesse, dans un milieu homogène, doit être uniforme et indépendante de la forme de l'onde, car la vitesse de propagation du front de l'onde en un point à un instant donné ne doit pas dépendre des parties de cette onde situées même à une distance très petite.

Quoi qu'il en soit, nous admettrons l'existence de cette vitesse uniforme v, qui doit évidemment être une certaine fonction de paramètres k, k', k'', k''', k^{IV},..... définissant complètement la nature du milieu. Si les lois fondamentales, exprimées par les formules (2), et les conséquences que l'on en peut déduire suffisent pour expliquer les phénomènes électro-magnétiques, k et k' étant les seuls coefficients dépendant de la nature du milieu qui interviennent dans ces formules (à cause des relations 4 et 4 *bis*), la vitesse v doit se réduire à une fonction de k et de k'. En remarquant

que $\sqrt{kk'}$ ou a a les dimensions d'une vitesse, on peut donc écrire :

$$\frac{v}{a} = \varphi(k, k') = \psi(k, \sqrt{kk'})$$

la fonction inconnue φ ou ψ ayant des dimensions nulles, c'est-à-dire ayant une valeur numérique indépendante des grandeurs arbitraires données aux unités fondamentales. Comme $\sqrt{kk'}$ a les dimensions d'une vitesse LT^{-1}, et que k a les dimensions K, par un raisonnement connu et déjà employé précédemment, on voit que la fonction ψ est en réalité indépendante de k et de $\sqrt{kk'}$; c'est donc une constante numérique A :

$$v = A.a.$$

On sait, par la théorie due à Maxwell, que cette constante numérique est égale à 1 :

$$v = a = \sqrt{kk'}.$$

La valeur de $\sqrt{kk'}$ est égale à 300.000 kilomètres par seconde dans le cas de l'air ; c'est la vitesse de la lumière.

On peut se demander si, pour compléter le raisonnement ci-dessus, il ne conviendrait pas de tenir compte de la densité, de l'élasticité et des autres qualités physiques de la matière pondérable contenue dans le milieu. Si le passage d'une onde électro-magnétique à travers un diélectrique laisse absolument inerte la matière de celui-ci, on ne voit pas comment la masse de cette matière et son élasticité pourraient intervenir ; et il semble que les seuls paramètres à considérer soient les coefficients k et k', dont la grandeur varie, du reste, avec la matière du milieu, cette variation

s'expliquant, suivant une hypothèse connue, par une modification de l'état physique de l'éther dans les milieux pondérables. Mais il est possible que le passage de l'onde communique un ébranlement assez sensible à la matière pour que l'on doive en tenir compte. Le fait même de cet ébranlement paraît probable, — sans que l'on puisse toutefois en estimer l'ordre de grandeur — si l'on se rappelle qu'une substance diélectrique ou magnétique, placée dans un champ électrique ou magnétique, subit des dilatations ou des contractions appréciables, — et si l'on en conclut que, pendant les variations du champ électrique ou magnétique, ces dilatations variant également, la matière doit être en mouvement. Mais cette question sort du cadre de notre étude.

Vitesse de propagation du courant sur une ligne télégraphique. — Dans sa théorie de la propagation du courant sur un câble télégraphique, qui a rendu de si grands services au début de la télégraphie sous-marine (*), sir W. Thomson ne fait intervenir la ligne que par sa résistance spécifique ρ, sa capacité γ par unité de longueur et enfin sa longueur l. On arrive ainsi à ce résultat que ce que l'on appelle quelquefois *durée de transmission des signaux* électriques est proportionnel au carré de la longueur de la ligne ; la *vitesse de transmission* correspondante est donc inversement proportionnelle à la longueur de la ligne et n'a aucun rapport avec la vitesse uniforme de propagation v des premières traces du courant, que Fizeau et Gounelle, et beaucoup d'autres expérimentateurs à leur suite, ont essayé de déterminer expérimentale-

(*) *Philosophical Magazine*, 1856.

ment. Il est facile de voir que la théorie en question ne peut fournir aucune indication sur cette vitesse v. En effet v, devant être indépendant de la longueur de la ligne, ne devrait dépendre que des paramètres ρ et γ, c'est-à-dire qu'il devrait exister une relation :

$$\varphi(v, \rho, \gamma) = 0 \quad \text{ou} \quad \psi(\rho, \rho\gamma, v) = 0$$

indépendante du choix des unités fondamentales. Or, v ayant les dimensions d'une vitesse $L\,T^{-1}$, $\gamma\,\rho$ ayant pour dimensions $L^{-2}T$ et ρ étant une grandeur électrique dont les dimensions ne sont pas réductibles à la forme $L^{\alpha}M^{\beta}T^{\gamma}$, il faut que la fonction ψ soit en réalité indépendante de v, ρ et $\gamma\,\rho$, c'est-à-dire qu'elle soit une constante égale à zéro. — Les considérations d'homogénéité établissent donc rigoureusement que la vitesse cherchée v ne peut être fonction de ρ et de γ seulement.

On rend la théorie de Thomson plus complète et beaucoup plus exacte en tenant compte de la self-induction λ de la ligne par unité de longueur. L'introduction de cet élément suffit pour indiquer la possibilité d'une vitesse uniforme v de propagation des premières traces du courant. Posons en effet :

$$v = \varphi(\rho, \gamma, \lambda)$$

ou :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}}\,\psi\left(\rho, \rho\gamma, \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}}\right)$$

en remarquant que $\frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}}$ a les dimensions d'une vitesse et, par conséquent, que la fonction ψ doit avoir des dimensions nulles. Et de même que plus haut on a trouvé que la fonction ψ $(\rho, \rho\,\gamma, v)$ se réduisait à une

constante, de même on verrait que $\psi\left(\rho, \rho\gamma, \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}}\right)$ se réduit à une constante numétrique A :

$$v = \frac{A}{\sqrt{\gamma\lambda}}.$$

En développant la théorie, qui conduit à des équations aux dérivées partielles, on trouve effectivement une vitesse uniforme de propagation donnée par la formule précédente, dans laquelle le coefficient numérique est 1 :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\gamma\lambda}}.$$

Cette vitesse est indépendante de la résistance de la ligne, contrairement à une opinion assez répandue; les simples considérations d'homogénéité en donnent la raison comme on vient de le voir. Il n'est pas inutile de citer les chiffres que donne la formule précédente comme valeurs de la vitesse du courant sur les lignes aériennes (le calcul pour les lignes souterraines et sous-marines présentant jusqu'ici une grande complication).

Pour une ligne aérienne composée de deux fils de cuivre (aller et retour) de $4^{mm},5$ de diamètre, situés à $0^{m},45$ l'un de l'autre, on trouve, en calculant γ et λ par les formules théoriques :

$$v = 295.000 \text{ kilomètres par seconde.}$$

En réalité ce nombre est un peu trop fort, car, si le nombre fourni par la théorie pour la self-induction λ de la ligne est conforme à l'expérience (*), celui de la capacité γ est toujours trop faible, la théorie ne tenant point compte de diverses causes secondaires qui ont

(*) Voir *Annales télégraphiques*, 1891, p. 343 : Mesures de capacité et de self-induction effectuées sur des lignes aériennes, par M. Massin.

pour effet d'augmenter cette capacité. — Du reste, voici des chiffres d'expériences fournis par M. Massin. Sur un circuit à fil double en cuivre de $2^{mm},5$ de diamètre (Bordeaux-Pauillac = 50 kilomètres), l'écartement des deux fils étant de $0^{m},40$, il a trouvé, par un temps relativement sec :

Capacité par kilomètre	$0^{mf},0065 = 65.10^{-10}$	unités pratiques
Self-induction —	$0^{q},0025 = 25.10^{-4}$	—

d'où :

$$v = \frac{1}{\sqrt{65 \times 25 \times 10^{-14}}} = 248.000^{km} \text{ par seconde.}$$

Sur un circuit à fil double en fer de 3 millimètres de diamètre (même ligne), l'écartement des fils étant encore de $0^{m},40$, il a trouvé :

Capacité par kilomètre	69.10^{-10}	unités pratiques
Self-induction —	129.10^{-4}	—

d'où :

$$v = \frac{1}{\sqrt{69 \times 129 \times 10^{-14}}} = 106.000^{km} \text{ par seconde.}$$

Ces chiffres sont bien de l'ordre de grandeur de ceux trouvés autrefois par Fizeau et Gounelle. On ne peut que regretter que les expériences entreprises par ces savants habiles et consciencieux n'aient pas été reprises avec des procédés plus perfectionnés.

Décharge d'un condensateur à travers une résistance. — Si l'on réunit, par un circuit extérieur de résistance R, les deux armatures d'un condensateur de capacité C chargé au potentiel V_0, à partir de ce moment, que nous prendrons pour origine du temps, le condensateur va se décharger. Au bout du temps t, la différence de potentiel des armatures sera tombée de

V_0 à V. Quelle relation existe entre V et t? Voici le résultat que donnent les simples considérations d'homogénéité.

V devant être une fonction de V_0, de t, de C et de R, on posera :

$$\begin{aligned} V &= \varphi(V_0 t, C, R) \\ &= V_0 \psi\left(t, C, CV_0^2, \frac{t}{CR}\right) \end{aligned}$$

en remarquant que le rapport $\frac{V}{V_0}$, c'est-à-dire la fonction ψ doit être de dimensions nulles. Or, t est un temps, C est une capacité (dont on peut prendre l'unité comme quatrième unité fondamentale), C V_0^2 représente une énergie ou travail (c'est le double de l'énergie électrique initiale du condensateur); enfin C R ayant les dimensions d'un temps, $\frac{t}{CR}$ a des dimensions nulles. Il en résulte que ψ ne dépend en réalité que de la variable $\frac{t}{CR}$:

$$V = V_0 \psi\left(\frac{t}{CR}\right).$$

Pour compléter ce résultat, il ne resterait qu'à donner une table numérique des valeurs de la fonction ψ pour diverses valeurs de $\frac{t}{CR}$, ou bien un graphique équivalent; de telle sorte que, pour calculer, par exemple, la durée T de la charge du condensateur à $\frac{1}{1000}$ près, on n'aura qu'à poser $\frac{V}{V_0} = \frac{1}{1000}$ dans la formule ci-dessus et à chercher dans la table la valeur u de la variable $\frac{T}{CR}$ qui correspond à la valeur

$\frac{1}{1000}$ de la fonction ψ; on en déduira :

$$T = CRu$$

On voit que la durée de la décharge $\left(\text{à } \frac{1}{n^e} \text{ près}\right)$ est proportionnelle à la capacité C et à la résistance R.

Mais on peut aller plus loin et calculer la forme de la fonction ψ, en remarquant que si au bout d'un temps t_1 la fraction de charge restante est donnée par la formule :

$$\frac{V_1}{V_0} = \psi\left(\frac{t_1}{CR}\right)$$

au bout d'un nouveau temps t_1 l'application de la même formule donnerait :

$$\frac{V_2}{V_1} = \psi\left(\frac{t_1}{CR}\right) = \frac{V_1}{V_0}.$$

On voit par là que, lorsque le temps t croît en progression arithmétique, le potentiel V décroît en progression géométrique ; on en conclut que la fonction ψ est une exponentielle :

$$\psi\left(\frac{t}{CR}\right) = e^{-A\frac{t}{CR}}$$

On montrerait même facilement que la constante A est égale à 1, de telle sorte que l'on a :

$$V = V_0 e^{-\frac{t}{CR}}$$

et la valeur de $\frac{t}{CR}$ n'est autre chose que le logarithme népérien de $\frac{V}{V_0}$. Mais la détermination de la fonction ψ exigeant la connaissance des propriétés de l'exponen-

tielle et du nombre e, cette étude sort du cadre que nous nous sommes tracé.

Extinction du courant dans un circuit dénué de force électromotrice. — Considérons un circuit dans lequel une pile maintient une intensité de courant i_0. Si la pile est mise brusquement en court circuit, à partir de ce moment, que nous prendrons comme origine du temps, l'intensité i va décroître plus ou moins rapidement suivant la résistance R et la self-induction L du circuit. Au lieu de calculer i en fonction du temps t par l'intégration d'une équation différentielle, voyons ce que donnent les considérations d'homogénéité. Nous poserons :

$$i = \varphi(i_0, \mathrm{R}, \mathrm{L}, t)$$

ou :

$$i = i_0 \psi\left(t, \mathrm{R}, \mathrm{R}i_0^2 t, \frac{\mathrm{R}t}{\mathrm{L}}\right)$$

ψ doit être évidemment de dimensions nulles. Or t est un temps, R une résistance électrique (dont on peut prendre l'unité comme quatrième unité fondamentale), $\mathrm{R}i_0^2 t$ une énergie ou travail ($\mathrm{R}i_0^2 t$ représente l'équivalent mécanique de la chaleur que dégagerait, pendant le temps t, dans un circuit de résistance R, un courant d'intensité i_0) ; enfin $\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{R}}$ ayant les dimensions d'un temps, $\frac{\mathrm{R}t}{\mathrm{L}}$ a des dimensions nulles. On en conclut que la fonction ψ ne dépend que de $\frac{\mathrm{R}t}{\mathrm{L}}$:

$$i = i_0 \psi\left(\frac{\mathrm{R}t}{\mathrm{L}}\right).$$

Ce résultat pourrait être complété par des observa-

tions analogues à celles qui ont été faites au sujet de la décharge du condensateur.

Décharge oscillatoire d'un condensateur. — Considérons un condensateur de capacité C chargé au potentiel V_0. A un moment donné, on relie ses armatures par un conducteur dont la self-induction est L, et dont la résistance est négligeable (cas limite ou voisin du cas limite $R = o$, réalisable pratiquement) ou plutôt a une influence négligeable pendant un temps suffisant. Le condensateur va tendre à se décharger, mais le courant de décharge se prolongeant à cause de la self-induction, il se produit une charge de sens contraire qui atteint un maximum égal à CV_0. La décharge se produit alors en sens inverse, et ainsi de suite (phénomène connu de la décharge oscillatoire). Le courant est donc soumis à un régime d'oscillations périodiques. Cherchons à calculer la période T.

On posera :

$$\begin{aligned} T &= \varphi(V_0, C, L) \\ &= \sqrt{CL}\,\psi(C, \sqrt{CL}, CV_0^2) \end{aligned}$$

On remarquera que $\sqrt{CL}$ a les dimensions d'un temps, CV_0^2 celles d'un travail et C celles d'une capacité (quatrième unité fondamentale), et que, par conséquent, la fonction ψ, devant être de dimensions nulles, se réduit à une constante numérique A :

$$T = A\sqrt{CL}.$$

La valeur de ce coefficient, qui résulte du développement de la théorie, est 2π :

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

Cherchons de même à calculer l'intensité i du cou-

rant au bout du temps t. On aura :

$$\begin{aligned} i &= \varphi(V_0, C, L, t) \\ &= V_0 \sqrt{\frac{C}{L}}\, \psi\left(C, \sqrt{CL}, CV_0^2, \frac{t}{\sqrt{CL}}\right) \end{aligned}$$

comme $\sqrt{\frac{L}{C}}$ a les dimensions d'une résistance électrique et, par suite, $V_0 \sqrt{\frac{C}{L}}$ celles d'une intensité de courant, la fonction ψ doit être de dimensions nulles et ne dépendra que de $\frac{t}{\sqrt{CL}}$:

$$i = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}}\, \psi\left(\frac{t}{\sqrt{CL}}\right).$$

La table numérique de la fonction ψ sera une table des sinus, car l'intégration des équations différentielles conduit à la formule :

$$i = V_0 \sqrt{\frac{C}{L}} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{CL}}\right).$$

Pour trouver les formules de T et de i, nous avons admis comme un fait connu le caractère oscillatoire du courant. Mais on peut démontrer ce fait *a priori* par le raisonnement suivant :

L'énergie $\frac{1}{2}CV^2$ emmagasinée dans le condensateur est au début $\frac{1}{2}CV_0^2$. Cette énergie va diminuer par suite de la décharge, mais par contre l'énergie $\frac{1}{2}Li^2$ emmagasinée dans le circuit, qui était nulle au début, va s'accroître. Comme il n'y a aucune dissipation d'énergie sous forme de chaleur, puisqu'on suppose nulle la ré-

sistance du circuit, on aura constamment :

$$\frac{1}{2}CV^2 + \frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}CV_0^2.$$

Cette formule montre que, à mesure que la charge du condensateur et, par suite, son énergie diminuent, l'énergie du circuit et, par suite, l'intensité i augmentent, et cela jusqu'à ce que le condensateur soit entièrement déchargé ($V = o$); à ce moment l'énergie $\frac{1}{2}Li^2$ du circuit a sa valeur maximum $\frac{1}{2}CV_0^2$. L'intensité i va donc décroître, mais elle conserve le même sens au moins pendant quelque temps. Pendant ce temps le condensateur, continuant à se décharger, se recharge en réalité en sens inverse. Cela continue jusqu'au moment où le courant i changera de sens, en passant naturellement par la valeur zéro ; à ce moment, l'énergie $\frac{1}{2}CV^2$ du condensateur sera redevenue égale à sa valeur première $\frac{1}{2}CV_0^2$, puisque i est nul, c'est-à-dire que la charge $-CV_0$ sera égale et de signe contraire à la charge primitive. A partir de ce moment, le sens du courant étant inversé, le même phénomène va se reproduire en sens inverse jusqu'à ce que le condensateur ait repris sa charge primitive $+CV_0$. Puis une nouvelle décharge va se produire, avec double oscillation du courant, et ainsi de suite. La durée d'une double oscillation du courant est évidemment toujours la même ; c'est ce que l'on appelle la période T du régime oscillatoire.

EXAMEN DE LA POSSIBILITÉ DE NOUVELLES FORCES ÉLECTRIQUES OU MAGNÉTIQUES.

La découverte des actions électro-magnétiques et électrodynamiques n'a pas fait intervenir d'autres coefficients dépendant du milieu que ceux qui entrent dans les lois fondamentales de l'électrostatique et du magnétisme (formules 2), c'est-à-dire k et k'. *En supposant que l'étude ultérieure de l'électricité n'introduise pas de nouveaux coefficients*, on peut se demander si elle ne mettra pas en évidence de nouvelles forces inconnues actuellement et s'exerçant, par exemple, entre un corps électrisé et un corps aimanté ou un courant. Voyons quelles indications donnent à cet égard les considérations d'homogénéité.

Action de corps électrisés sur des corps aimantés. — Supposons qu'une quantité d'électricité q exerce sur une quantité de magnétisme μ, située à la distance r, une force égale à f. Cette action ne devant, par hypothèse, faire intervenir aucun coefficient dépendant du milieu autre que k et k', on devra avoir une relation telle que :

$$f = \varphi(q, \mu, r, k, k'),$$

φ désignant une fonction actuellement inconnue.

Si l'on avait n quantités d'électricité égales à q_1 concentrées au même point, l'action que la quantité de magnétisme μ exerce sur leur ensemble serait égale à la somme des actions qu'elle exerce sur chacune d'elles, c'est-à-dire que l'action de μ sur la quantité $q = nq_1$ est égale à n fois l'action de μ sur q_1. Cela revient encore à dire que la force f est proportionnelle à la quan-

tité d'électricité q. Pour une raison semblable, elle est proportionnelle à la quantité de magnétisme μ, ce qui permet d'écrire :

$$f = q\mu\psi(r, k, k')$$
$$= \sqrt{kk'}\frac{q\mu}{r^2}\theta(r, k, k').$$

Nous mettons en évidence le facteur $\frac{\sqrt{kk'}q\mu}{r^2}$, — ce qui n'enlève rien à la généralité de la formule, — parce que la quantité $\sqrt{kk'}\frac{q\mu}{r^2}$ ayant les mêmes dimensions que la force f, le facteur complémentaire θ devra être de dimensions nulles. Or on voit, par un raisonnement déjà répété plusieurs fois, que r étant une longueur, k étant rapporté à une unité fondamentale K, et $\sqrt{kk'}$ étant une vitesse, la fonction θ est en réalité indépendante de r, k et k' ; c'est une constante numérique A :

$$f = A\sqrt{kk'}\frac{q\mu}{r^2}. \quad (5)$$

Telle serait forcément la loi de l'action d'une masse électrique sur une masse magnétique, si cette action existait. Il est vrai que cette formule (5) renferme un coefficient numérique A dont la grandeur est inconnue. Ce coefficient pourrait être extrêmement faible, et l'on pourrait croire que c'est à cause de sa petitesse que l'action f n'a pu être constatée jusqu'ici. On peut montrer qu'il n'en est rien et calculer même le coefficient A, par un raisonnement entièrement semblable à celui qui permet de déduire la théorie de l'électrodynamique de celles du magnétisme et de l'électromagnétisme. Ici c'est la loi fondamentale du magnétisme que nous nous proposons de déduire de la loi fondamentale de

l'électrostatique et de la loi fondamentale hypothétique exprimée par la formule (5).

En comparant cette formule (5) à la première des formules (2) (loi fondamentale de l'électrostatique) :

$$f = k\frac{qq'}{r^2}$$

on remarque :

1° Que la quantité d'électricité q exerce sur la quantité de magnétisme μ la même action que sur une quantité d'électricité q' égale à

$$q' = \mathrm{A}\sqrt{\frac{k'}{k}}\,\mu,$$

en d'autres termes la quantité de magnétisme μ, en présence de quantités d'électricité quelconques, c'est-à-dire dans un champ électrique, se comporte comme une quantité d'électricité égale à $\mathrm{A}\sqrt{\frac{k'}{k}}\,\mu$;

2° Qu'inversement la quantité d'électricité q subit de la part de μ une force égale à $\mathrm{A}\sqrt{kk'}\,\frac{q\mu}{r^2}$ absolument comme si elle était située dans un champ électrique dont l'intensité H serait :

$$\mathrm{H} = \mathrm{A}\sqrt{kk'}\,\frac{\mu}{r^2},$$

en d'autres termes la quantité de magnétisme μ crée un champ électrique d'intensité $\mathrm{A}\sqrt{kk'}\,\frac{\mu}{r^2}$.

En réunissant ces deux observations, on peut calculer la force f exercée par une masse magnétique μ sur une autre masse magnétique μ'. La masse μ crée

en effet un champ électrique d'intensité $A\sqrt{kk'}\,\frac{\mu}{r^2}$, dans lequel la masse μ' se comporte comme une quantité d'électricité égale à $A\sqrt{\frac{k'}{k}}\,\mu'$. La force f n'est autre chose que le produit de ces deux facteurs :

$$f = A\sqrt{kk'}\,\frac{\mu}{r^2} \times A\sqrt{\frac{k'}{k}}\,\mu'$$

ou :

$$f = A^2 k' \frac{\mu\mu'}{r^2}.$$

On retrouve donc bien la loi fondamentale du magnétisme, et l'on voit de plus en comparant cette formule à la deuxième des formules (2), que le coefficient $A^2 k'$ est égal à k'. Il en résulte : $A = 1$, au signe près, et la formule (5) peut s'écrire :

$$f = \sqrt{kk'}\,\frac{q\mu}{r^2}.$$

Il est facile de se rendre compte qu'une telle force, si elle existait, serait mesurable et aurait été constatée depuis longtemps. Considérons en effet : 1° deux masses électriques égales à q, placées à une distance r telle que leur action f_1 :

$$f_1 = k\,\frac{q^2}{r^2}$$

soit facilement mesurable; 2° deux masses magnétiques égales à μ, placées à une distance r telle que leur action f_2

$$f_2 = k'\,\frac{\mu^2}{r^2}$$

soit facilement mesurable. L'action f qui s'exercerait entre l'une de ces masses électriques q et l'une de

ces masses magnétiques μ, placées à la même distance r :

$$f = \sqrt{kk'}\,\frac{\mu q}{r^2} = \sqrt{f_1 f_2}$$

étant, comme on le voit, la moyenne géométrique de f_1 et de f_2, serait évidemment mesurable. Cette action n'ayant jamais été constatée n'existe donc pas.

Nous avons démontré ainsi que, si l'action d'un corps électrisé sur un aimant existe, cette action doit forcément faire intervenir un nouveau coefficient dépendant du milieu, et qui ne soit pas une simple fonction de k et de k'.

Action de corps électrisés sur des courants. — La même question, posée au sujet d'une action possible d'un corps électrisé sur un courant, n'est pas susceptible de recevoir une réponse aussi précise. Considérons, si elle existe, la force f exercée par une masse électrique q sur un élément de circuit de longueur ds parcouru par un courant i, et situé à une distance r. On devra poser :

$$f = \varphi(q,\ i,\ ds,\ r,\ \varepsilon,\ k,\ k')$$

ε désignant l'angle que fait la direction de l'élément ds avec la droite qui joint la masse q au centre de l'élément ds. Par un raisonnement analogue à celui qui a été fait plus haut, on montrerait que la force f doit être proportionnelle à q, à i et à ds :

$$f = qids\,\psi(r,\ \varepsilon,\ k,\ k').$$

En écrivant cette formule sous la forme :

$$f = \sqrt{\frac{k}{k'}}\,\frac{qids}{r^2}\,\theta(r,\ \varepsilon,\ k,\ k')$$

et remarquant que le facteur $\sqrt{\frac{k}{k'}}\frac{qids}{r^2}$ a les mêmes dimensions que la force f, on verrait que la fonction θ, dont les dimensions doivent être nulles, ne dépend en réalité que de l'angle ε :

$$f = \sqrt{\frac{k}{k'}}\frac{qids}{r^2}\chi(\varepsilon).$$

Mais on ne voit pas comment on pourrait, sans des hypothèses arbitraires, déterminer soit la fonction $\chi(\varepsilon)$, soit la direction même de la force f. On sait que le problème analogue relatif à l'action d'un pôle d'aimant sur un courant ne peut être résolu que grâce à l'établissement préalable de certains principes expérimentaux, tels que le principe des courants sinueux invoqué par Ampère. Nous nous en tiendrons donc là. Les exemples précédents nous paraissent d'ailleurs suffisants pour montrer l'utilité des considérations d'homogénéité et la manière de les appliquer.

VASCHY.

NOUVELLE

CONDUCTIBILITÉ UNIPOLAIRE DES GAZ (*)

La conductibilité d'un gaz chauffé entre deux surfaces de platine portées au rouge a été démontrée par Edm. Becquerel et confirmée par M. Blondlot. Les phénomènes qui suivent concernent un gaz compris entre un métal porté au rouge et un métal maintenu à la température ordinaire. Le gaz est encore conducteur, mais sa conductibilité est beaucoup plus forte quand le métal froid est négatif.

I. Un fil en zigzag, échauffé par un courant, provoque la déperdition sur un disque vertical fixé au bouton d'un électromètre de Hankel.

Le fil est un fil de platine iridié à 10 p. 100, de 6/10 de millimètre de diamètre, formant 5 boucles parallèles de 3 centimètres de longueur, sur une largeur totale de $4^{cm},5$. Le disque métallique, de $6^{cm},8$ de diamètre, est chargé par l'un des pôles d'une pile de 250 éléments constants dont l'autre pôle est relié au sol. La feuille d'or mobile de l'électromètre s'écartait d'une bande de laiton verticale et fixe, de 50 divisions du micromètre du microscope viseur.

Tant que le fil traversé par un courant I est au-dessous du rouge, la feuille d'or reste déviée. Dès que le fil commence à rougir, elle tombe vivement si le disque est négatif, très lentement s'il est positif. Pour une

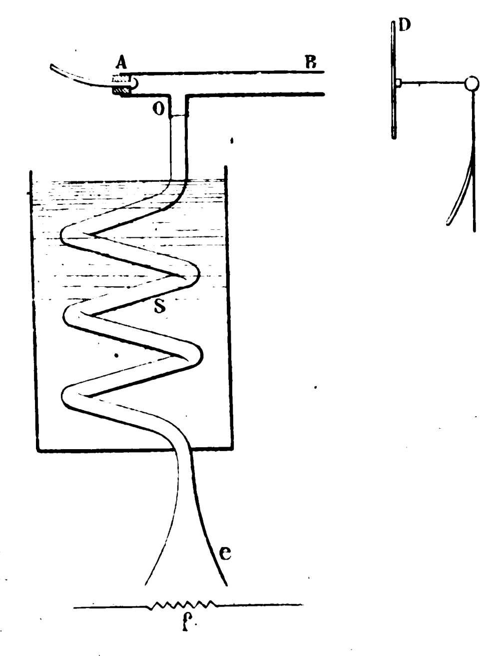
(*) Note de M. Édouard Branly, *Comptes rendus*, 4 avril 1892.

même distance *d* du fil et du disque, les deux déperditions croissent avec l'incandescence du fil, mais la déperdition positive n'est comparable à la négative qu'au rouge vif.

I = 7^{amp},75, *d* = 15^{mm}.	Disque d'aluminium	négatif.	5 secondes.
Perte de 20 à 40.	—	positif.	Extrêmement lente.

Le fil et le disque peuvent être placés horizontalement (le fil au-dessus du disque).

I = 12^{amp}, *d* = 40^{mm}.	Disque d'aluminium	négatif	3 secondes.
Perte de 10 à 40.	—	positif.	21 secondes.



Mêmes résultats si au-dessus du fil incandescent on dispose un cône adapté à l'orifice O du tube horizontal AB (voir figure). Un courant de gaz sortant d'un réservoir à 25 atmosphères parcourt le tube et aspire

les gaz chauds du platine, (fil et disques parallèles, disque au-dessous du fil).

Mêmes résultats si l'on remplace le disque horizontal par une cuvette d'ébonite renfermant de l'eau ou des solutions salines.

Une lame mince d'ébonite ou de mica étant posée sur le disque négatif, la feuille d'or tombe complètement quand le fil vient à rougir, mais l'électricité reparaît si l'on enlève l'ébonite après que le fil a cessé de rougir. Il en est encore de même quand on a placé un disque métallique sur l'ébonite. Ces effets s'expliquent aisément.

II. La déperdition est produite en refroidissant les gaz chauds qui enveloppent le fil de platine incandescent et en les projetant sur le disque.

La figure explique la disposition. Le fil de platine *f* rougit au-dessous d'un entonnoir fixé au bas d'un serpentin de 2 mètres plongé dans l'eau froide. A son extrémité supérieure, le serpentin s'emboîte dans la tubulure O d'un tube AB où circule le gaz d'un réservoir à 25 atmosphères. Le jet de gaz qui tombe sur le disque D est très froid.

I = 13 ampères. Perte de 10 à 20.	Disque d'aluminium	négatif. . . .	18 secondes.
	—	positif. . . .	Extrêmement lente.
I = 15 ampères. Perte de 10 à 20.	Disque d'aluminium	négatif. . . .	10 secondes.
	—	positif. . . .	22 secondes (*).

(*) Si l'on remplace le fil *f* par la flamme d'un bec Bunsen, d'une lampe à alcool, d'une bougie, les gaz de la flamme aspirés, refroidis et lancés sur le disque électrisé, produisent une vive déperdition. Il suffit d'une pression de quelques atmosphères dans le réservoir à air comprimé. La déperdition est ici la même pour les deux électricités. Même résultat avec les gaz des étincelles électriques.

Ajoutons qu'un courant de vapeur d'eau ou d'hydrogène, ou d'air très fortement chauffés et lancés contre le disque, ne produisent aucune déperdition. La déperdition a lieu toutefois si le gaz passe dans un tube chauffé au rouge.

III. Au fil, on substitue une lame chauffée au gaz (lame et disques parallèles). Disques d'aluminium, plomb, cuivre, zinc, etc.

On remplace le verre d'un bec de gaz par un tube de laiton autour duquel on fixe une feuille de platine qui est portée au rouge. On peut encore employer une large lame de platine au centre de laquelle on dirige le jet d'un chalumeau à gaz.

$d = 50^{mm}$. Disque de plomb positif :
Durée de perte pour 2 divisions, 105 secondes.
Disque de plomb négatif :
Durée de perte pour 30 divisions, 10 secondes.

IV. Les essais galvanométriques confirment les mesures électrométriques. La couche d'air est comprise entre deux plaques de platine parallèles ou entre une plaque de platine et une plaque d'aluminium.

Les deux plaques étaient rectangulaires (22^{cm} sur 16^{cm}). Un écartement de 8 millimètres était produit par deux bandes minces d'ébonite posées le long du bord le plus étroit et séparées par un tube de cuivre plat à circulation d'eau froide. La plaque d'aluminium était directement refroidie. Un chalumeau chauffant le platine en son centre le faisait rougir sur un cercle de 1 à 5 centimètres de diamètre. L'aluminium et le platine étaient reliés aux deux pôles d'une pile de 250 éléments constants. On s'assurait du parfait isolement de tout le circuit. Sensibilité du galvanomètre (Siemens à très long fil construit par M. Gendron) 1 millimètre de déviation à 1 mètre pour $\frac{1 \text{ amp.}}{4.10^9}$ (Système aimanté médiocrement astatique; zéro fixe.)

La couche d'air comprise entre les deux plaques ne laissait passer le courant que lorsque le platine était

rouge ; le courant augmentait d'intensité avec l'incandescence. La déviation fixe est notablement plus forte quand la plaque froide est négative (par exemple, avec l'aluminium, 1.800 s'il est négatif, et seulement 30 s'il est positif).

V. Le phénomène persiste pour de fortes différences de potentiel. Cela résulte de la comparaison des distances explosives entre une lame de platine et une sphère, lorsque le platine est ou n'est pas chauffé.

Deux tiges à mouvement micrométrique et terminées chacune par une boule de laiton sont disposées horizontalement en face d'une lame de platine verticale. Les deux tiges sont reliées entre elles et à l'un des pôles d'une petite machine électrique mise en rotation par un moteur Marcel Deprez ; l'autre pôle de la machine va au platine. Le platine étant froid sur toute sa suface, les boules a et a' sont approchées de telle sorte que l'étincelle parte indifféremment de l'une ou de l'autre boule. Avec un chalumeau à gaz on chauffe la portion de la surface du platine qui regarde la boule a, d est la distance explosive pour la boule a, d' pour la boule a'.

Série n° 1.	Boules positives. . . .	$d = 10^{mm}$	$d' = 10^{mm}$
	Boules négatives. . . .	$d = 10^{mm}$	$d' = 7^{mm}$
Série n° 2.	Boules positives. . . .	$d = 10^{mm}$	$d' = 10^{mm},5$
	Boules négatives. . . .	$d = 10^{mm}$	$d' = 4^{mm}$

Sur une même ligne, d et d' sont des distances équivalentes. La série n° 2 correspond à une incandescence plus vive du platine. La dernière ligne de mesure fait voir qu'une couche d'air de 10 millimètres en face du platine rouge offrait la même résistance qu'une couche de 4 millimètres en face du platine froid, les boules étant négatives.

ÉTUDE

DU

RÉGLAGE DU FREIN DE L'APPAREIL HUGHES(*)

Cette étude doit être précédée de celle de l'action des forces centripètes sur la vitesse angulaire d'un mobile, et de l'examen des forces centripètes agissant sur l'appareil Hughes.

Action des forces centripètes sur la vitesse angulaire dans un mouvement circulaire.

On démontre en mécanique que, pour qu'un mobile décrive un cercle, il faut qu'il soit poussé de la circonférence vers le centre du cercle par une force F, égale à la masse m du mobile, multipliée par V^2 le carré de sa vitesse linéaire, divisée par r le rayon du cercle décrit. Cette loi s'exprime par l'équation

$$F = \frac{mV^2}{r}.$$

Mais, comme c'est la vitesse angulaire v qui nous intéresse ici, remplaçons dans l'équation ci-dessus V^2 par sa valeur r^2v^2. Nous obtiendrons $F = mrv^2$, d'où

$$v^2 = \frac{F}{mr}.$$

(*) *Journal télégraphique* de Berne, t. XVI, 1892, p. 133.

Pour que la vitesse angulaire soit uniforme, il faut donc que $\frac{F}{mr}$ soit constant.

Voyons si cette condition est remplie dans l'appareil Hughes.

Forces centripètes agissant sur la sphère massive de l'appareil Hughes.

Les forces qui agissent sur la sphère massive de l'appareil Hughes sont au nombre de trois :

1° La force élastique de la tige vibrante, que nous désignerons par P;
2° La force transmise à la sphère par la pression du balai du frein contre le tambour, que nous désignerons par Q;
3° La pression exercée par le ressort du frein, que nous désignerons par R.

Comme nous ne voulons pas étudier pour le moment l'influence de la masse de la sphère, supposons, pour simplifier, cette masse égale à l'unité.

La vitesse angulaire de la sphère massive sera exprimée par l'équation

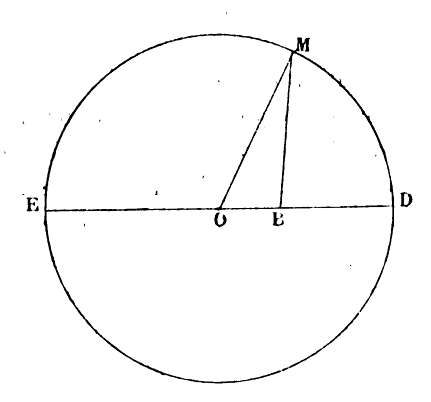
$$v^2 = \frac{P + Q + R}{r}.$$

Recherchons maintenant la valeur de chacune de ces trois forces, en fonction de r.

1re *force P.* La force élastique de la tige vibrante. Si la tige est bien centrée, la force centripète P est égale à Ar. A est un facteur constant, proportionnel à la force élastique de la tige, et qui croît quand on rapproche la sphère massive du point d'encastrement de la tige.

Si P était la seule force centripète agissant sur la sphère, nous aurions $v^2 = A$; la vitesse angulaire serait uniforme.

Examinons encore le cas où la tige n'est pas centrée.



Soit O le centre du cercle décrit par la sphère, B la position du centre de la sphère quand la tige est en repos, c'est-à-dire quand elle n'exerce aucune force. Supposons la sphère en M. La force centripète est proportionnelle à BM, ou $F = A \times BM$. Mais comme

$$BM = \sqrt{r^2 + OB^2 - 2r \cdot OB \cdot \cos MOD},$$

nous aurons

$$v^2 = \frac{F}{r} = \left(\frac{\sqrt{r^2 + OB^2 - 2r \cdot OB \cdot \cos MOD}}{r}\right) A.$$

La vitesse aura sa valeur minimum quand la sphère sera en D; cette valeur augmentera constamment jusqu'en E où elle sera à son maximum, puis elle diminuera pour revenir à sa valeur minimum en D. Nous aurons un mouvement périodiquement uniforme, et non un mouvement isochrone. Pour que le mouvement

soit isochrone, il faut donc que la tige soit parfaitement centrée.

Supposons cette première condition remplie et examinons l'action des autres forces centripètes.

2e *force* Q. Pression exercée par le balai sur la tige vibrante.

Si, quand *r* a atteint une certaine valeur, toutes les forces tangentielles venaient à être supprimées, le mobile continuerait à décrire indéfiniment le même cercle avec la même vitesse. En d'autres termes, si la force motrice du poids était égale à la somme des résistances des différents frottements permanents de l'appareil, la force élastique de la tige suffirait à maintenir indéfiniment un isochronisme parfait. Mais l'appareil Hughes est soumis par sa destination à des résistances supplémentaires et intermittentes, lesquelles ne changeront pas la vitesse angulaire, mais qui diminueront la vitesse linéaire, par conséquent le rayon des vibrations, jusqu'à ce que l'extrémité de la tige vienne s'appuyer contre l'axe du volant ; la contre-pression de ce dernier diminuera et annulera la force centripète de la tige, et l'appareil s'arrêtera.

Il faut donc absolument que la force motrice soit supérieure aux forces résistantes permanentes (frottements des pivots, des engrenages, etc.).

Mais, pendant le repos de l'axe imprimeur, cet excès de la force motrice augmentera constamment le rayon jusqu'à amener la rupture de la tige. Pour parer à ce danger, M. Hughes, l'inventeur, a adapté à la tige vibrante un frein, qui par le frottement de son balai contre le tambour, produit une résistance exactement égale à l'excès de la force motrice.

Cette pression du balai engendre une contre-pression

agit comme force centripète sur la sphère massive. C'est ce que nous avons appelé la force Q. Il nous t l'exprimer, comme la force P, en fonction de r.

Si nous désignons par h la valeur de r au moment le balai commence à toucher le tambour, d'après s lois de l'élasticité, Q sera égal à B $(r-h)$ ou

$$Q = Br - Bh \quad \text{et} \quad \frac{Q}{r} = B - \frac{Bh}{r}.$$

B est un facteur constant, directement proportionnel u coefficient d'élasticité du balai et de la branche du rein entre le balai et l'excentrique, et inversement roportionnel au coefficient de frottement entre le balai et le tambour. Si les deux forces P et Q étaient seules agir sur la sphère massive, on aurait $v^2 = A + B - \frac{Bh}{r}$.

Nous voyons que la vitesse angulaire est uniforme tant que r ne varie pas, et que quand, par le jeu de l'axe imprimeur, r diminue, la vitesse diminue aussi.

3[e] *force R.* Pression du ressort du frein contre l'excentrique.

Cette force a pour but de neutraliser le ralentissement produit par le balai, quand l'amplitude des vibrations diminue.

Cette force se compose : 1° d'une force initiale m, qui s'exerce déjà quand l'appareil est en repos ; 2° d'une autre force qui croît avec r, et dont la valeur approximative est Cr, le facteur constant C dépendant de la force du ressort et des proportions existant entre les différentes parties du frein.

Nous avons donc $R = m + Cr$.

Valeur totale de v^2.

En remplaçant, dans l'équation $F = P + Q + R$, P, Q, R par leur valeurs, nous obtenons :

$$F = Ar + Br - Bh + Cr + M,$$

d'où

$$v^2 = \frac{F}{r} = A + B + C + \frac{m - Bh}{r}.$$

Cette équation nous fait voir : 1° que la vitesse de l'appareil est uniforme tant que r ne varie pas ; 2° que quand r diminue, la vitesse augmente si m est plus grand que Bh, et qu'au contraire la vitesse diminue si Bh est plus grand que m.

Réglage du frein.

Le réglage du frein aura pour but de rendre $m - Bh$ assez petit pour que la perturbation en résultant puisse être corrigée par le système correcteur.

Comme la force initiale m est la seule que nous puissions modifier, c'est sur cette force que se portera le réglage.

Si notre appareil ralentit quand l'axe imprimeur travaille, m est trop faible, nous n'avons qu'à renforcer le ressort du frein avec les pinces ; si, au contraire, le travail de l'axe imprimeur produit une accélération, nous devons affaiblir le ressort.

Voici maintenant le procédé pratique pour vérifier le frein.

Pour voir si notre frein est bien réglé, nous demandons les Blancs à notre correspondant, et quand notre appareil a bien la vitesse du sien, nous isolons encore

pendant une dizaine de tours, et pendant cet isolement nous donnons quelques coups du doigt sur le volant pour faire fléchir notre tige, puis nous rétablissons la communication.

Si nous recevons la même lettre qu'avant l'isolement, nous sommes certains que la diminution du rayon de vibration résultant de ces coups sur le volant n'a pas produit de variation sensible dans la vitesse de notre appareil. Notre frein est bien réglé.

Si au lieu de recevoir la même lettre, nous recevons en avance, par exemple B au lieu de A, nous sommes certains que la diminution du rayon amène une accélération de l'appareil. Notre frein est trop fort.

Nous devons le sortir, l'affaiblir, le remettre en place, régler de nouveau l'amplitude des vibrations et la vitesse et revérifier le frein comme ci-dessus.

Si après l'interruption de 10 tours et les coups du doigt sur le volant, nous recevons en retard, par exemple Blanc au lieu de A, la diminution du rayon produit un ralentissement. Notre frein est trop faible. Nous le sortons, le renforçons et recommençons les mêmes opérations jusqu'à ce que nous recevions la même lettre. Notre frein sera alors bien réglé.

Pour voir si le frein de notre correspondant est bien réglé, nous lui demandons une combinaison qui fasse bien fléchir sa tige, par exemple INT INT . . . nous isolons pendant 10 tours; si après ces 10 tours, nous recevons encore INT, son frein est bien réglé.

Si, au lieu de INT, nous recevons en avance AJ OUAJO . . ., cette avance n'est qu'apparente, car pendant l'isolement, notre rayon n'a pas changé; elle provient d'un ralentissement de notre correspondant. Son frein est trop faible. Si, au contraire, au lieu de INT,

nous recevons ZHMSZH . . . , son frein est trop fort.

Il est bien entendu que, pour procéder avec une sûreté à cette vérification du frein, il faut que les autres parties de l'appareil soient en bon état, notamment la partie électrique bien réglée.

Eug. DISSIMOZ,
télégraphiste à Genève.

L'HUILE COMME ISOLANT (*)

M. Preece ayant, dans la séance du 10 décembre dernier de l'Institution des Ingénieurs électriciens de Londres, rappelé que l'emploi de l'huile comme isolant d'un conducteur avait été pour la première fois préconisé par M. Hughes, celui-ci a indiqué dans la séance du 10 mars comment il avait été jadis conduit à s'occuper de cette question, et à proposer dans ce but l'application des hydrocarbures tels que le pétrole et l'huile de résine. Nous extrayons de sa communication les passages suivants :

« En 1858, l'échec du premier câble transatlantique, par suite d'un mauvais isolement, fut l'objet d'unanimes regrets. Après la réussite de sa pose, l'isolement devint rapidement de plus en plus mauvais, et, peu de temps après, la transmission cessa. On attribua le fait à des fissures imperceptibles produites dans la gutta pendant la fabrication, fissures que l'immersion aggrava, à la foudre et aussi aux décharges de la bobine d'induction de Whitehouse employée à cette époque, décharges qui perforèrent le câble en plusieurs points. Il me parut alors qu'il fallait une forme d'isolement capable de se réparer lui-même, et qu'un câble perforé par la foudre ou par les courants du travail ordinaire, puisse être réparé par un procédé plus

(*) *L'Industrie électrique*, 25 mars 1892.

simple que celui qui consiste à enlever la partie endommagée du câble.

« Je pensai qu'il fallait imiter la nature dans ses procédés de restauration des accidents auxquels sont soumis les êtres vivants, et que si l'on pouvait enfermer un câble dans un milieu capable de se renouveler lui-même, le câble ne mourrait pas après la première, ni même après un nombre quelconque de piqûres. Pour réaliser ces conditions, je pensai qu'une huile isolante épaisse, enfermée entre le fil et son enveloppe extérieure, remplirait toutes les conditions voulues.

« Pour essayer ces huiles, j'eus recours aux potentiels élevés fournis par les machines statiques, en employant des jarres et un électromètre de Peltier. Les expériences préliminaires sur plusieurs fils couverts de gutta et de caoutchouc indiquèrent de grands écarts de qualités isolantes d'une variété à l'autre, mais ces qualités étaient constantes pour chaque spécimen ; il était facile de dire quelle était celle dont les propriétés isolantes étaient le plus élevées.

« Ces expériences me montrèrent que, pour arriver à connaître la véritable valeur isolante d'une huile, il fallait avoir recours à une méthode par laquelle le résultat serait indépendant d'un enduit isolant mis préalablement sur le fil. Je pris dans ce but deux disques plats circulaires, de 25 millimètres de diamètre, que je pouvais immerger dans l'huile ; à l'aide d'une vis micrométrique, je pouvais comparer la distance explosive dans l'air et dans l'huile, ainsi que le temps mis pour décharger complètement une bouteille de Leyde à travers les différents milieux. Je constatai ainsi de très grandes différences entre les différentes qualités, et même entre plusieurs échantillons d'une

qualité, ce qui rend illusoire l'établissement d'une table dressée à l'avance. La seule difficulté pratique, en ce qui concerne l'huile de résine, est de trouver et de faire bien connaître au fabricant la qualité la meilleure pour le but qu'on poursuit. J'ai trouvé, en demandant des échantillons à différents fabricants, des qualités extrêmement différentes : les unes inférieures à l'huile de castor, les autres supérieures à la gutta. Il faut donc, avant d'employer une huile, bien déterminer ses qualités électriques par des essais sur l'échantillon même.

« L'application que l'isolant doit recevoir influe aussi sur le choix à faire entre plusieurs huiles très isolantes. Ainsi, dans un milieu isolant à actions rapides, condensateurs, transformateurs, bobines roulées très serrées entre les spires desquelles il est très difficile à l'huile de pénétrer, une huile de résine légère, telle que l'essence de résine, convient parfaitement, tandis que, pour les câbles et les fils souterrains, une huile de résine épaisse est préférable, car son isolement est supérieur à celui de l'essence, et elle ne fuit pas à la moindre fissure de l'enveloppe.

« J'ai étudié également l'influence des différentes qualités d'huile sur la gutta et le caoutchouc. Un certain nombre d'huiles sont nuisibles à la gutta, et presque toutes, sauf l'huile de castor, détruisent plus ou moins rapidement le caoutchouc.

« Après de nombreuses expériences, j'ai trouvé que l'huile pure de résine donne le plus haut isolement; une étincelle perçant une épaisseur donnée de gutta est loin de pouvoir percer une épaisseur d'huile égale. De plus, l'isolement est détruit une fois la gutta percée, tandis que, grâce à sa mobilité, l'huile de résine

rétablit aussitôt l'isolement à sa valeur initiale. L'huile de résine conserve la gutta, car les feuilles de gutta plongées quelque temps dans cette huile augmentent le poids, montrant ainsi que l'huile a pénétré ses pores, tandis que la gutta est devenue plus ferme et plus résistante. Un échantillon datant de trente-trois ans, et exposé à l'air pendant tout ce temps, paraît encore aussi bon isolant qu'au jour même de sa fabrication.

« Des expériences furent faites ensuite sur la valeur de l'huile de résine employée comme isolant unique dans un câble. J'entourai un fil de cuivre de 30 centimètres de longueur avec du coton ou du chanvre bien sec, ou mieux, j'enroulai autour du conducteur une simple ficelle à pores très larges, afin que l'huile pénètre le plus facilement possible dans toutes les parties; le fil ainsi garni fut introduit dans un petit tube de plomb rempli d'huile de résine. La ficelle n'avait pas d'autre but que d'empêcher un contact direct entre le tube et l'enveloppe. Cette disposition est, on le voit, identique à celle brevetée par David Brooks, de Philadelphie, il y a une quinzaine d'années, et clairement décrite dans mon brevet du 11 janvier 1859. L'isolement de cette forme de câble n'était pas aussi élevé que celui de la gutta solide, la fibre ne constituant pas un isolement aussi bon que l'huile dont elle était imprégnée, mais sa puissance de reconstitution me parut contrebalancer et au delà son plus faible pouvoir isolant, car, même avec la gutta, interviennent des questions de solidité et de durée qu'il ne faut jamais perdre de vue par considération d'un haut isolement temporaire. J'estime que lorsque la valeur des isolants liquides sera mieux connue, surtout pour les potentiels élevés, ils seront plus géné-

ralement employés, d'autant mieux qu'aucun brevet ne pourra s'opposer à leur emploi.

« Je répétai les mêmes expériences en faisant usage, comme conducteur intérieur, d'un fil recouvert d'une mince couche de gutta, en introduisant ce fil dans un tube en gutta plein d'huile de résine. J'obtins ainsi un très grand isolement. J'essayai alors une barre de cuivre nu dans le tube de gutta sans huile de résine. A ma grande surprise, l'isolement fut supérieur à celui des meilleurs fils isolés à la gutta fournis par la gutta-percha Company.

« Cependant les tubes de gutta que j'employais provenaient d'un magasin de détail et étaient manifestement de qualité inférieure. Je trouvai plus tard que cette différence était due à ce que les tubes, fabriqués depuis longtemps, s'étaient desséchés en magasin et avaient ainsi perdu toute leur humidité. Le même résultat fut obtenu en faisant dessécher la gutta nouvel lement préparée. Je ne crois pas cependant que le qualités mécaniques de la gutta aient été améliorées dans cette opération ; elle est devenue cassante, car l'humidité ou une huile essentielle semblent nécessaires à sa vie et à ses qualités mécaniques.

« Je fis part de ces résultats à M. Chatterton et à M. Willoughby Smith, et j'insistai sur la nécessité de bien sécher la gutta et de fabriquer les câbles, si cela était possible, sans macérer continuellement la gutta dans l'eau. J'ignore l'effet de mes remarques, mais je me souviens que quelques semaines après ils me fournirent un échantillon qu'ils appelaient gutta-percha spéciale, et qui présentait certainement les bonnes qualités isolantes de ma gutta-percha desséchée.

« Mon principal objet étant de produire un isole-

ment auto-reconstituant pour câbles et fils souterrains, l'emploi d'essence de résine ou de pétrole me parut objectionnable, car le fluide pouvant s'échapper avec rapidité d'une fissure ou d'une piqûre rendrait l'entretien coûteux. Mais en faisant usage d'une huile épaisse, lourde, d'un écoulement difficile, celle-ci déplacerait toute eau pouvant s'introduire par une piqûre, pourvu que l'on établit une certaine pression dans la conduite à l'aide de stations convenablement distribuées. Je donnai donc la préférence à l'huile de résine, déjà épaisse et visqueuse par elle-même, et qu'on peut encore épaissir en l'additionnant de résine molle qu'on y fait dissoudre, ou par l'addition d'huile de palme, qui jouit de la remarquable propriété d'épaissir l'huile de résine. Dans le but de donner raison à ceux qui objecteraient une petite fuite possible par une fissure, j'ai réalisé plusieurs composés, mentionnés dans mon brevet, composés qui durcissent au contact de l'eau et s'opposent ainsi à tout gaspillage d'isolant visqueux en cas de fissure accidentelle.

« J'ai employé dans mes essais des potentiels très élevés, et lorsque l'étincelle pouvait franchir, dans l'air, une distance de 1 pouce (25^{mm}), l'huile de résine empêchait la décharge de se produire à une distance de 1/64 de pouce ($0^{mm},4$). Après avoir ainsi découvert les remarquables propriétés isolantes de l'huile de résine, j'en recouvris mes jarres et, en général, tous les points où un grand isolement était nécessaire, et je pus ainsi conserver des jarres chargées plusieurs heures dans un milieu rempli d'humidité.

« Les récentes expériences de Francfort ont donné une nouvelle preuve de la valeur de l'huile comme isolant, par l'emploi de ce produit dans des transforma-

teurs à 20.000 volts. Dans tous les cas où il faudra allier un grand isolement au pouvoir d'auto-reconstitution de l'isolant, je suis convaincu qu'on ne pourra avoir recours qu'aux isolants liquides. Cet isolant est moins cher que la gutta, et, avant peu, il sera utilisé dans les transformateurs et les condensateurs. M. Tesla a aussi reconnu, dans ses charmantes expériences, les qualités de l'huile comme isolant. J'ai remarqué pendant mes expériences que, quel que soit le potentiel, la déperdition se fait régulièrement, à tous les degrés de charge des jarres, que le potentiel soit de 200.000 ou de 1.000 volts seulement... »

M. Hughes termine sa communication en répétant devant l'Institution quelques-unes de ses anciennes expériences à l'aide d'échantillons de câbles fournis par M. Preece et de la machine électrostatique de M. Wimshurst, et cite quelques extraits de son brevet de 1859, qui établissent nettement en sa faveur la priorité de l'invention des conducteurs à isolement d'huile de résine, et il conclut ainsi :

« Malgré l'avis favorable émis par sir William Fothergill Cooke devant la Society of Arts, à la suite d'une communication faite le 15 avril 1859, mes tentatives auprès des compagnies de télégraphie sous-marine pour faire essayer le système furent inutiles. Je perdis ainsi deux années d'un temps précieux, à la suite desquelles, venu en France pour exploiter mon télégraphe imprimant, je dus, pendant plusieurs années, consacrer tout mon temps à cet appareil et abandonner ainsi au domaine public mon isolement fluide auto-reconstituant. La cause de l'insuccès dans l'application vient de ce que l'invention était éclose avant que le besoin s'en fit sentir, ou qu'il fût aussi impé-

rieux qu'à l'époque actuelle. Je suis heureux de déclarer qu'aujourd'hui, grâce à la lumière électrique et à la transmission électrique de l'énergie, l'emploi des isolants auto-reconstituants entre rapidement dans la pratique, sous le nom et par les brevets de nombreux inventeurs successifs. Je remercie M. Preece de m'avoir, en citant mes anciens travaux, fourni l'occasion de revendiquer la priorité des recherches entreprises et des résultats acquis et brevetés dès 1859. »

LES PROGRÈS

DU DÉVELOPPEMENT DU SERVICE TÉLÉPHONIQUE

DU TERRITOIRE DU REICHS-POSTAMT

PENDANT LES ANNÉES 1887 A 1890 (*)

(Extrait de la statistique de l'administration allemande pour l'année 1890).

Dans la statistique pour l'année 1883, nous avons décrit les premiers débuts du service téléphonique dans le territoire du Reichs-Postamt allemand, et en particulier l'organisation des premiers systèmes téléphoniques urbains. La statistique de 1886 contenait un rapport sur le développement de ces services depuis l'année 1884, dont les progrès les plus marquants ont été alors l'application de la téléphonie à de grandes distances, la création des systèmes téléphoniques interurbains, et l'organisation de réseaux téléphoniques de district.

Depuis le commencement de 1887, les germes plantés pendant les années précédentes se sont développés dans une mesure très satisfaisante. Jusqu'à la fin de 1890 (**), les systèmes téléphoniques du territoire de l'Administration des postes et télégraphes de

(*) *Journal télégraphique de Berne*, 25 février et 25 mars 1892.
(**) Voir *Journal télégraphique*, vol. XII, p. 30, 60 et 92.

l'Empire allemand se sont doublés tant au point de vue de leur nombre qu'à celui de leur étendue, tandis que leur usage s'est triplé.

Par conséquent, un exposé de la marche des progrès du service téléphonique pendant la période de 1887 à 1890 ne laissera pas de présenter un certain intérêt. En dehors des installations urbaines, des réseaux de district et des lignes de communications, il sera aussi fait une mention spéciale des télégraphes privés et d'autres installations particulières.

1° *Réseaux urbains.*

A la fin de l'année 1886, il existait des réseaux téléphoniques urbains dans 122 localités; ces réseaux comprenaient 19.151 postes raccordés par 30.393 kilomètres de ligne à leurs stations centrales : d'après l'état relevé le 31 décembre 1890, 233 localités étaient alors pourvues d'installations téléphoniques urbaines composées de 51.419 postes d'abonnés desservis par 82.330 kilomètres de ligne. Le nombre des communications établies entre les abonnés d'un même réseau s'est élevé dans la période en considération de 59.691.000 à 209.966.000.

Les stations centrales ont accepté, en 1890, 291.536 télégrammes pour la retransmission et 155.865 pour la remise aux abonnés; en 1886, le nombre de ces télégrammes ne s'élevait encore qu'à 128.495 et respectivement 61.238.

Des nouvelles installations téléphoniques urbaines ont été créées.

En 1887 : à Aschersleben, Baden-Baden, Bernburg, Blankenese, Elbing, Forst, Glücksburg, Hanau, Helm-

stedt, Kehl, Liegnitz, Markirch, Markranstädt, Metz, Minden (Westphalie), Mühlhausen (Thuringe), Mülheim (Rhin), Münster (Westphalie), Nordhausen, Oranienburg, Osnabrück, Schöneberg près Berlin, Sonneberg (Saxe-Meiningen), Stassfurt-Leopoldshall, Stralsund, Tempelhof près Berlin et Zeitz.

En 1888 : à Annaberg (Erzgebirge), Buchholz (Saxe), Friedrichsberg, Reinickendorf et Wilmersdorf près de Berlin, Gummersbach, Halberstadt, Limbach-Oberfrohna, Lissa (Silésie), Loschwitz, Memel, Neumünster, Nienburg (Saale), Ratibor, Saarbrück, Thorn, Westerhüsen et Worms.

En 1889 : à Apolda, Brieg (district de Breslau), Calbe (Saale), Cœthen (Anhalt), Deuben (district de Dresde), Eschweiler, Giessen, Gotha, Herford, Hirschberg (Silésie), Lengenfeld (Vogtland), Meissen, Mylau, Neviges, Nieder-Schœnweide près Berlin, Pillau, Rostock (Mecklembourg), Throta-Crœllwitz, Warnemünde et Weissenfels.

En 1890 : à Coblenz, Eisenach, Gœttingue, Guben, Kreuznach, Ratingen, Renzburg, Saalfeld (Saale), Schleswig, Schwerin (Mecklembourg), Siegmar, Spremberg (Lusace), Stolberg (Province rhénane), Trèves et le Cercle de Waldenburg.

C'est naturellement le réseau téléphonique urbain de Berlin qui a pris le plus grand accroissement. Tandis qu'au 1er avril 1885, donc quatre ans après l'ouverture du service, on ne comptait encore à Berlin et dans sa banlieue que 2.934 postes d'abonnés, ce nombre s'était déjà presque doublé jusqu'à la fin de l'année 1886; à la fin de l'année 1890, il y avait, seulement dans le district urbain de Berlin, 14.490 postes téléphoniques en service, entre autres 88 cabines de

bourse et 21 cabines publiques. Les lignes servant au raccordement des postes d'abonnés aux 9 stations centrales actuelles ont un développement de 24.436 kilomètres de fils placés sur un parcours de 122 kilomètres de poteaux de bois et de 453 kilomètres de supports métalliques. Le nombre des communications établies entre les abonnés du réseau téléphonique de la ville de Berlin s'est élevé, en 1890, au chiffre de 86.000.000, soit presque à la moitié du nombre des communications établies entre les abonnés de tous les autres réseaux urbains. Les stations centrales de Berlin établissent en moyenne 17,6 communications téléphoniques par jour et par poste.

Pour l'usage des cabines publiques, il a été délivré, à Berlin, en 1890, 182.117 tickets téléphoniques, dont 142.875 à la station centrale de la Bourse.

Le nombre des agents des stations centrales de Berlin, qui était seulement de 283 à la fin de 1886, s'est élevé à 581 jusqu'à la fin de 1890.

Le système de commutation employé pendant les premières années du service était entaché de plusieurs inconvénients : l'installation des tableaux-commutateurs exigeait notamment un espace si vaste, qu'un agrandissement et une augmentation des stations centrales étaient devenus inévitables.

Les difficultés qu'opposaient au service ces inconvénients et les défauts des appareils obligèrent l'Administration à recourir à l'emploi d'un autre système pour faire face à l'énorme accroissement du trafic. Elle se décida à introduire dans son service le système des commutateurs multiples perfectionnés en Amérique.

Ce nouveau système présente cet avantage que chaque employé peut établir, de sa place, toute com-

munication demandée en introduisant une fiche correspondante dans son propre commutateur, sans le concours d'un autre employé. L'emploi des tableaux-commutateurs multiples constitue le seul moyen de faire aboutir et desservir un assez grand nombre de lignes téléphoniques dans un seul local. Il diminue et simplifie le travail des agents et permet à l'Administration de réaliser une économie d'espace et de forces ouvrières tout en assurant d'une manière plus complète l'établissement exact des communications demandées.

Ce système a été installé, jusqu'à la fin de l'année 1890, dans les stations centrales I, III, V, VIII et IX. Dans les années suivantes, on installera encore de pareils appareils de commutation à la station centrale n° VII et à celle de Moabit. Après l'achèvement de ces installations, il n'y aura plus que 6 stations centrales.

Après Berlin, c'est Hambourg qui possède le réseau téléphonique urbain le plus étendu. Dans cette ville aussi, le grand accroissement des raccordements et les difficultés qui en sont résultées pour le service a nécessité dès l'abord la création de plusieurs stations centrales, jusqu'à ce que l'introduction du système de commutation multiple ait à la fin permis de centraliser tout le service dans un seul bureau.

Le même système est aussi appliqué pour le service téléphonique de Cologne, et il sera introduit dans le courant des années prochaines à Breslau, Francfort-sur-le-Mein, Leipzig et dans d'autres villes.

L'introduction du système de commutation multiple a été encore accompagnée d'une autre innovation importante. Tandis qu'en raison du travail corporel qu'il exigeait, le service des tableaux commutateurs ne

pouvait être effectué auparavant que par des hommes, la manipulation plus facile et plus commode des commutateurs multiples met maintenant ce service aussi à la portée de l'autre sexe. L'emploi des femmes pour cette branche de service se recommande d'autant plus que le son de leur voix est généralement plus distinct que celui des voix masculines. C'est ainsi que l'Administration occupe actuellement à Berlin pour le service téléphonique 378 dames, tandis que les hommes qu'elles ont remplacés ont trouvé la plupart de l'emploi dans d'autres branches de service de l'Administration.

Si l'introduction du commutateur multiple a permis de résoudre jusqu'à un certain point le problème de la concentration d'un grand nombre de raccordements sur une seule station centrale, le grand accroissement de ces lignes a, d'un autre côté, créé à Berlin et à Hambourg une nouvelle difficulté qui a été moins facile à surmonter.

Avec le temps, le réseau téléphonique aérien de Berlin avait pris une telle extension qu'il était devenu absolument impossible d'établir de nouvelles lignes, ou que l'on n'aurait pu les construire sans des installations extrêmement compliquées et sans des frais exorbitants. Aux alentours des stations centrales, il n'y avait plus un seul bâtiment qui pût encore être utilisé, et la plupart des poteaux existant n'auraient plus pu supporter un accroissement de leur charge. En outre, l'opposition constamment croissante des propriétaires contre l'érection de supports et d'autres moyens d'installation sur leurs immeubles avait placé l'Administration vis-à-vis de ces propriétaires dans une situation dépendante de plus en plus préjudiciable aux intérêts du service. Pour cette raison, on s'était déjà proposé,

il y a plusieurs années, de remplacer le réseau aérien par un réseau souterrain. Après avoir fait les études et pris les mesures nécessaires, l'Administration résolut en premier lieu d'établir des artères de câbles principales qui devaient rayonner de la station centrale n° 1, placée au milieu de la ville vers les autres postes d'échange, et relier ces derniers les uns aux autres. A partir de ces différents points, le réseau de ce câble devait se ramifier dans la direction des différents quartiers extérieurs de la ville. L'exécution de ce projet rencontra cependant des difficultés, les négociations entamées dans ce but avec les autorités métropolitaines n'ayant pu aboutir immédiatement à un résultat.

L'Administration allemande parvint, sur ces entrefaites, à améliorer provisoirement l'établissement des lignes aériennes en employant en 1887, premièrement à Berlin, à titre d'essai, et plus tard sur une plus grande échelle, du fil de bronze pour les conducteurs téléphoniques. En raison de la plus grande conductibilité du bronze, il est possible d'employer du fil d'un petit diamètre, ce qui permet de poser sur les poteaux téléphoniques un nombre de conducteurs beaucoup plus considérable qu'on ne pourrait le faire dans les mêmes circonstances en employant du fil d'acier fondu. — Pour obtenir plus de place sur les poteaux, on commença en outre, avec succès, à resserrer beaucoup plus les groupes de fils. — Le diamètre du fil de bronze employé pour les lignes téléphoniques urbaines était au commencement de 1,2 millimètres ; il est actuellement de 1,5 millimètres.

Malgré l'usage du fil de bronze et malgré l'encâblement provisoire des lignes téléphoniques aériennes, la nécessité de l'établissement à Berlin d'un réseau télé-

phonique souterrain était devenue toujours plus urgente.

Au mois de septembre 1888, les autorités de Berlin donnèrent, sous de certaines conditions, leur consentement à l'enfouissement des câbles téléphoniques dans les rues de la capitale.

L'établissement du réseau de câble fut alors immédiatement entrepris, selon le plan précédemment adopté. Les câbles sont placés dans des tuyaux de fer ou de fonte dont le diamètre a été calculé d'après le nombre des câbles qu'ils devront contenir sur les différents parcours; ce diamètre varie de 20 à 40 centimètres.

Les frais du réseau tubulaire souterrain s'élèvent à environ 1.250.000 marks et les dépenses pour la construction des câbles qui y seront renfermés à 609.000 marks.

Voici comment ces câbles sont construits :

Le câble comprend 28 conducteurs isolés, répartis en 7 groupes de 4 conducteurs. Chaque conducteur consiste en un fil de cuivre de 1 millimètre, autour duquel est enroulé du fil de coton imprégné d'une substance isolante et recouvert à son tour d'une feuille d'étain. Chaque groupe de 4 conducteurs est réuni en un lacet autour d'un fil de cuivre nu de 1 millimètre de diamètre, et 6 de ces lacets sont tordus autour d'un septième de manière à former un toron. Ce dernier est enveloppé d'un ruban imprégné et renfermé ensuite dans une double chemise de plomb. Après avoir été encore une fois enveloppé d'un ruban imprégné d'asphalte, le câble est finalement garni de sa gaine protectrice composée de 19 fils de fer galvanisé.

A Hambourg comme à Berlin, le besoin d'un trans-

fert sous terre du réseau téléphonique aérien est devenu aussi bientôt nécessaire. Les pourparlers entamés en 1887 à ce sujet avec le Sénat de Hambourg aboutirent à un arrangement en 1889.

Ce système sera encore introduit prochainement dans d'autres villes.

Au printemps de l'année 1887, l'Administration apporta une modification aux conditions des abonnements aux réseaux téléphoniques urbains en ce qui concerne la durée des engagements des abonnés. Tandis que les conventions d'abonnement avaient toujours été précédemment conclues pour un terme de deux années, l'Administration se borna, à partir de cette époque, à exiger de l'abonné une acceptation par écrit des « conditions de la participation à l'usage d'un réseau téléphonique urbain ». Cet engagement a un effet juridique d'une année, et il est considéré comme tacitement prolongé, si l'abonné ne fait pas usage de son droit de dénonciation.

Les dispositions prises depuis l'année 1886, en vue de l'utilisation des réseaux téléphoniques urbains pour le service d'avis des incendies, ont continué à recevoir de l'extension. Actuellement, on peut acquérir de jour et de nuit, dans 82 localités du territoire télégraphique de l'Empire, le secours des corps de pompiers par l'intermédiaire des (en tout 4.698) postes téléphoniques d'alarme.

2° *Réseaux interurbains.*

Le développement des réseaux téléphoniques urbains a été accompagné d'un progrès relativement aussi rapide du réseau des communications interurbaines.

Le nombre des lignes téléphoniques urbaines, qui n'était que de 106 en 1886, s'élevait à la fin de l'année 1890 à 250. La longueur totale des lignes a été portée de 4.485 à 17.155 kilomètres ; le nombre des communications établies avec les localités de la banlieue et du voisinage s'est accru de 5.615.160 à 30.467.413, et pour la correspondance à de grandes distances de 28.322 à 918.555.

Parmi les communications interurbaines actuellement existantes, les importantes sont les suivantes : Berlin-Hambourg avec 217 conversations par jour, Berlin-Brunswick-Hambourg avec 28, Berlin-Magdebourg avec 58, Berlin-Stettin avec 49, Berlin-Leipzig avec 89, Berlin-Breslau avec 110, Berlin-Dresde avec 64, Berlin-Cottbus-Gœrlitz avec 34, Brême-Bremerhaven avec 256, Breslau-Beuthen (Haute-Silésie) avec 35, Cologne-Bonn avec 314, Cologne-Düren-Aix-la-Chapelle avec 18, Francfort (Mein)-Mannheim avec 39, Hambourg-Lübeck avec 42, Hambourg-Brême avec 64, Hambourg-Kiel avec 28, Kiel-Flensbourg avec 11, Magdebourg-Halberstadt avec 24 et Magdebourg-Halle (Saale) avec 14 conversations par jour.

On n'a pu réussir à obtenir une parfaite intelligibilité des conversations entre les abonnés à une aussi grande distance que celle de Berlin à Breslau (350 kilomètres) qu'en faisant usage du fil de bronze pour les conducteurs. Ainsi qu'il a déjà été mentionné dans le Rapport statistique pour 1886, c'est entre Berlin et Hambourg qu'a été établie la première ligne en fil de bronze.

Les résultats de cette innovation ayant été très satisfaisants, on construit depuis lors toutes les grandes lignes téléphoniques avec ce fil en circuit double.

Le système van Rysselberghe de télégraphie et téléphonie simultanée sur un seul et même fil qui avait été introduit en 1887 pour la correspondance entre Berlin, d'une part, et Halle (sur la Saale), Leipzig, Stettin et Dessau, d'autre part, ainsi que sur les lignes de Breslau à Beuthen, de Kiel à Flensbourg, de Halle (sur la Saale) à Leipzig, n'a pas répondu à l'attente de l'administration, et il est maintenant abandonné.

La ville de Berlin est reliée par téléphone aux localités ci-après : Charlottenbourg, Cœpenick, Friedenau, Gross-Lichterfelde, Grünau, Ludwigsfelde, Magdebourg, Pankow, Postdam, Rixdorf, Rummelsburg, Steglitz, Spandau, Wannsee, Weissensee et Westend depuis 1886 ou auparavant ; en outre, Dessau, Halle sur la Saale, Hambourg, Hanovre, Leipzig, Oranienburg, Schœneberg près Berlin, Stettin et Tempelhof depuis 1887 ; Brunswick, Breslau, Dresde, Freiberg (Saxe), Friedrichsberg près Berlin, Reinickendorf et Wilmersdorf près Berlin depuis 1888 ; Aschersleben, Calbe, Cœthen, Cottbus, Forst, Guben, Johannisthal-Niederschœnweide, Halberstedt, Helmstedt, Meissen, avec les localités du cercle industriel des Haute-Lusace prussienne et saxonne, en outre Stassfurt-Leopoldshall et Spremberg depuis 1889, et enfin, depuis 1890, avec les localités du réseau interurbain général des cercles d'Halberstadt, Oschersleben et Wernigerode ainsi qu'avec les localités de Blankenburg (Harz), Quedlinburg et Thale (Harz).

Plusieurs autres lignes interurbaines ont encore été établies, notamment dans les provinces du Rhin, de Westphalie, de Saxe et dans le royaume de Saxe. On a relié entre autres : Hagen en Westphalie à Dortmund, Bochum et Essen sur la Ruhr ; Düsseldorf à la

dernière localité précitée et à Duisburg, Cologne (Rhin) à Crefeld, Düren, Aix-la-Chapelle et Elberfeld, Bonn à Coblence; en outre, Leipzig à Halle sur la Saale et Markranstädt, Magdebourg à Helmstedt, Meerane en Saxe à Chemnitz, Plauen dans le Vogtland, Leipzig, Zwickau, Crimmitzschau, Glauchau, Reichenbach (Vogtland) et Werdau; Bernburg à Magdebourg, Dessau, Aschersleben, Cœthen (Anhalt), Nienburg sur la Saale et Stassfurt-Leopoldshall, et enfin Breslau à Waldenburg en Silésie.

Il existe deux lignes interurbaines entre le territoire télégraphique de l'empire allemand et le Würtemberg : Pforzheim-Stuttgart-Schwäbisch Gmünd et Mannheim-Heilbronn-Stuttgart. — Dans la partie bavaroise du palatinat du Rhin, Kaiserslautern et Ludwigshafen sont en communication avec Mannheim, et d'autres localités de la même région seront encore reliées prochainement à cette dernière ville. On a commencé à établir des lignes interurbaines à travers la frontière austro-allemande entre Zittau et respectivement Gross-schœnau et les localités de Reichenberg et Warnsdorf en Bohême. L'administration allemande est également en négociations pour raccorder le système téléphonique urbain de Constance aux réseaux téléphoniques de la Suisse.

La correspondance téléphonique interurbaine a pris un tel accroissement que, dans beaucoup d'endroits, les installations ne suffisent plus. Pour augmenter le rendement des lignes actuelles, on a dû se décider à réduire la durée des conversations de 5 à 3 minutes.

L'adoption de cette mesure n'a pas paru présenter d'inconvénient, l'expérience ayant démontré que le terme de 5 minutes n'était pas complètement employé

pour les communications importantes, mais qu'on le remplissait en partie par des entretiens insignifiants (*).

En outre, l'administration a introduit, par analogie à ce qui se pratique déjà dans le service télégraphique, la faculté de l'urgence pour les conversations téléphoniques. Pour ces conversations urgentes, il est perçu le triple de la taxe applicable aux conversations ordinaires.

3° *Réseaux interurbains généraux dans les districts industriels.*

A la fin de 1886, il existait des réseaux téléphoniques dans les districts industriels de la Haute-Silésie, du Rhin (soierie) et dans le district du Bas-Rhin-Westphalie.

Le fait que l'utilisation de la téléphonie dans ces districts répondait à un besoin réel a été démontré par l'augmentation rapide et sans cesse croissante du trafic de leurs réseaux. Ces installations furent en conséquence considérablement étendues et complétées suivant le besoin de chaque localité.

Le tableau ci-après donnera une idée de l'importance du trafic de ces réseaux industriels :

(*) Voir, à ce sujet, *Annales télégraphiques*, t. XIII, 1887, p. 512.

	RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE GÉNÉRAL du district industriel					
	DE LA HAUTE SILÉSIE		DU RHIN		DU BAS-RHIN-WESTPHALIE	
	État au 31 déc. 1886	État au 31 déc. 1890	État au 31 déc. 1886	État au 31 déc. 1890	État au 31 déc. 1886	État au 31 déc. 1890
Nombre des postes téléphoniques.	159	253	524	1.022	345	1.251
Longueur des lignes, en kilomètres	1.136	1.471	791	1.442	1.951	6.151
Dont lignes interurbaines, kilomètres	703	573	134	288	496	2.450
Nombre des communications quotidiennement établies	1.697	3.702	5.784	13.970	3.792	28.166
Dont communications interurbaines.	1.338	2.908	1.339	3.357	2.098	21.596

L'influence favorable qu'a exercé le téléphone sur le commerce et l'industrie de ces régions a fait naître, dans d'autres districts industriels plus ou moins concentrés, le désir de posséder aussi un pareil moyen de communication.

En 1887, l'administration fit établir un réseau téléphonique général dans le pays de Berg, où les habitants y étaient communément intéressés par leurs grandes industries uniformes de tissage et de quincaillerie. Ce réseau comprit en premier lieu les localités de Solingen, Remscheid, Lennep et Rœnsdorf; il vint s'y ajouter plus tard Vohwinkel, Wermelskirchen et Radevormwald, et, en 1890, Ohligs et Schwelm. Il fut raccordé aux villes d'Elberfeld et Barmen avec lesquels cette région entretient des relations commerciales très actives.

Les abonnés des neuf stations centrales du réseau de la région de Berg doivent payer une redevance annuelle de 200 marks par poste téléphonique pour leurs

correspondances réciproques et pour leurs relations avec Elberfeld. Cette redevance est augmentée, pour les postes situés en dehors du rayon local de la remise des télégrammes, d'une taxe additionnelle de 50 marks par kilomètres de ligne comptée à partir de la limite dudit rayon local.

La correspondance échangée par le réseau téléphonique de la région de Berg avec les réseaux urbains situés au delà d'Elberfeld fut soumise aux conditions généralement appliquées à la correspondance interurbaine. Eu égard aux relations commerciales très actives entre Barmen et le pays de Berg, l'administration accorda aux abonnés de Barmen qui payaient la surtaxe annuelle de 50 marks pour la communication avec Elberfeld, la faculté de correspondre avec les abonnés du réseau général du district de Berg dans les mêmes conditions que ceux d'Elberfeld, c'est-à-dire sans le paiement d'une surtaxe.

Le réseau du district de Berg a été ouvert en 1887 avec 70 postes téléphoniques. A la fin de 1890, malgré la date encore récente de son inauguration, ce réseau comprenait déjà 216 postes téléphoniques desservis par 193 kilomètres de lignes de raccordement et 270 kilomètres de lignes interurbaines. Il a été établi, en 1890, 646.231 communications, dont 427.879 sur les lignes interurbaines.

Dans les parties prussienne et saxonne de la Haute-Lusace si renommée par sa grande industrie, on avait déjà voulu établir en 1887 un réseau téléphonique général pour un grand nombre de localités de cette région, et relier en même temps ce réseau à Berlin, Dresde, Leipzig, Chemnitz et Breslau. Ce projet ne reçut cependant son exécution qu'en 1889, après que

l'administration eut recueilli le nombre d'abonnements suffisant pour assurer le rendement satisfaisant de l'entreprise. Le réseau fut ouvert en 1890 avec 421 postes téléphoniques, y compris 274 postes de réseaux urbains déjà en activité.

Outre les réseaux urbains qui existaient déjà à Gœrlitz, Zittau, Reichenau (Saxe), Grosschœnau (Saxe) et Neugersdorf (Saxe), l'administration installa encore des réseaux spéciaux avec des stations centrales, à Laubau, Penzig, Reichenbach (Haute-Lusace), Lœbau (Saxe), Bautzen, Sohland (Spree), Neusalza-Spremberg et Ostritz. L'ensemble du réseau qui comprenait toutes ces localités fut en outre relié à Dresde et Berlin.

Pour la participation à l'usage de ce réseau général, l'administration fixa les mêmes conditions que celles qui étaient déjà en vigueur pour les installations de ce genre qui étaient alors déjà en service. Comme, toutefois, le rendement de l'entreprise était assuré, l'administration renonça à exiger des participants le payement d'une contribution, à fonds perdu, aux frais de construction du réseau.

D'après le relevé fait au 31 décembre 1890, ce réseau comprenait, avec les localités de Gœrlitz, Zittau, etc., déjà 491 postes téléphoniques desservis au moyen de 735 kilomètres de lignes de raccordement et de 704 kilomètres de lignes interurbaines. Le nombre des conversations s'élevait à 4.320 par jour.

En 1890, on a créé encore un réseau téléphonique pour les cercles d'Halberstadt, Oschersleben et Wernigerode, ainsi que pour les localités de Blankenburg (Harz), Quedlinburg et Thale (Harz). Le téléphone sert dans cette contrée aux besoins de l'agriculture et de l'industrie sucrière.

Les conditions d'abonnement à ce réseau diffèrent de celles qui ont été jusqu'ici appliquées en ce que, pour la correspondance illimitée dans l'intérieur du réseau, l'administration exige une redevance annuelle de 250 marks de chaque poste téléphonique (poste terminal) situé dans le rayon local de remise d'une station centrale. Pour les postes téléphoniques qui se trouvent en dehors de ce rayon, la redevance annuelle est augmentée de 30 marks par kilomètre mesuré à partir de la limite du rayon local de remise, avec cette réserve que la surtaxe est perçue pour une ligne de raccordement dépassant un kilomètre, seulement lorsque la section s'étendant entre la station centrale et la limite du rayon local de remise n'a pas une longueur d'un kilomètre.

Les stations centrales installées à Blankenburg (Harz), Grœningen (district de Magdebourg), Neuwegersleben, Oschersleben, Osterwieck (Harz), Quedlinbourg, Thale (Harz) et Wernigerode sont toutes reliées par des lignes de jonction spéciales à la station principale de Halberstadt qui sert d'intermédiaire pour les relations avec les places situées en dehors du réseau.

A la fin de 1890, le réseau comprenait 205 postes téléphoniques, 281 kilomètres de lignes de raccordement et 162 kilomètres de lignes de communications interurbaines; on a échangé 1.607 conversations par jour.

Dans les mêmes conditions que celles qui ont été fixées pour le réseau du district d'Halberstadt, l'administration ouvrira en 1891 un service téléphonique général pour la ville de Francfort-sur-le-Mein et ses environs. Les limites de ce réseau sont formées : au sud par la rive gauche du Mein et du Rhin, de Hanau jus-

qu'à Rüdesheim ; à l'Ouest par une ligne s'étendant de Rüdesheim jusqu'à Langenschwalbach ; au nord et à l'est par une ligne allant de Langenschwalbach par Kœnigstein, Homburg vor der Höhe et Friedrichsdorf à Hanau ; il viendra encore s'y ajouter les parties du cercle municipal et rural de Francfort, du cercle de Hœchst qui sont situées au sud du Mein, et éventuellement aussi les villes d'Offenbach (Mein) et de Mayence.

Le Reichs-Postamt se propose en outre de comprendre dans un réseau unique des rives gauches du Rhin et du Mein les localités situées au sud du Rhin et du Mein dans un rayon limité par la ligne de démarcation Bingen, Kreuznach, Worms, Darmstadt et Gross-Steinheim près d'Hanau. Les négociations relatives au réseau du sud sont encore pendantes.

Enfin, un petit réseau de district est en voie de formation dans la vallée de Hirschberg ; il embrassera les localités d'Hirschberg, Warmbronn, Hermsdorf, Erdmannsdorf, Schmiedeberg, Petersdorf et Schredberhau.

Réseaux télégraphiques annexes et télégraphes privés.

Tandis qu'il n'y avait encore que 51 réseaux télégraphiques annexes desservis au moyen du téléphone, à la fin de 1886, on comptait déjà, au 31 décembre 1890, 216 installations de ce genre avec 810 kilomètres de ligne.

Dans le courant de la même période, le nombre des télégraphes privés exploités à l'aide de téléphones s'est accru de 887 à 1.799, et la longueur de leurs lignes a été portée de 2.940 à 6.243 kilomètres.

Les progrès ci-dessus décrits ont été accompagnés d'une transformation complète du système des taxes. L'administration s'est vue obligée de régler, d'après des principes uniformes et généralement applicables, les tarifs pour la construction et l'usage des installations téléphoniques qui avaient été précédemment établis suivant les conditions particulières de chaque localité. Les changements de taxes devenus nécessaires par suite de cette réforme ont tous été effectués dans le sens d'une simplification et d'un abaissement des tarifs, en vue de mettre l'usage de ces nouveaux moyens de communication encore plus à la portée du public.

L'abonnement annuel à un réseau téléphonique urbain s'élevait pendant la période de 1887 à 1890 à 150 marks.

Une ordonnance du chancelier de l'Empire, du 2 août 1887, a fixé les conditions de prix pour l'usage du téléphone d'une cabine publique, pour une durée de 5 minutes, comme il suit :

a) une taxe de 25 pfennigs pour les conversations échangées à l'intérieur du réseau urbain;

b) une taxe de 50 pfennigs pour une conversation échangée entre une ville et ses faubourgs ou localités avoisinantes, et respectivement entre des faubourgs ou des agglomérations voisines reliées à une station centrale du chef-lieu commun;

c) une taxe de 1 mark pour les relations entre des places éloignées pourvues de systèmes téléphoniques particuliers reliés entre eux, soit par une ligne directe, soit au moyen d'appareils de translations installés dans des réseaux téléphoniques d'autres localités.

Dans le trafic de la banlieue et des localités avoisinantes (*b*), la taxe de 50 pfennigs doit être également acquittée pour l'établissement de la communication entre des postes d'abonnés, si aucun de ces derniers ne paye la redevance annuelle fixée pour l'usage ab-

solu de la ligne de raccordement qui relie le lieu de résidence des abonnés au centre urbain commun.

Les conversations échangées sur une ligne interurbaine par l'intermédiaire d'une cabine téléphonique installée dans un faubourg ou une localité avoisinante des centres urbains reliés par cette ligne ne donnent pas lieu à une augmentation de la taxe fixe de 1 mark.

Cette dernière taxe est aussi applicable aux communications interurbaines demandées par les postes d'abonnés installés dans la banlieue et les localités voisines, que ces abonnés paient ou non la redevance en bloc pour la communication téléphonique avec leur centre urbain.

En ce qui concerne l'échange des correspondances verbales dans le rayon des réseaux téléphoniques généraux des districts industriels, il est aussi soumis aux dispositions indiquées sous les lettres *a*), *b*) et *c*), si les abonnés ne paient pas les redevances en bloc spécialement fixées pour l'usage illimité de ces systèmes. Pour les relations interurbaines entre les districts industriels ayant chacun leur propre réseau, il est perçu une taxe spéciale de 1 mark.

Enfin, une ordonnance subséquente du chancelier de l'Empire, en date du 30 novembre 1887, a établi une redevance en bloc uniforme de 50 marks par an pour l'usage illimité des lignes téléphoniques qui relient le centre d'une localité à sa banlieue et aux agglomérations limitrophes.

La simplification et l'abaissement des tarifs pour les réseaux télégraphiques annexes et les lignes télégraphiques privées, qui sont maintenant presque tous desservis au moyen du téléphone, a eu un résultat tout aussi satisfaisant.

Depuis le 15 septembre 1886, l'administration se charge de construire des lignes télégraphiques annexes tant pour son propre compte que pour celui des particuliers qui les louent ou en font l'acquisition.

Dans le premier cas, le prix de location annuel d'un télégraphe annexe et d'une ligne de raccordement d'une longueur d'un kilomètre ou fraction de kilomètre, est fixé aux chiffres ci-après :

a) pour une ligne desservie par l'appareil Morse. . . . . 125 marks
b) pour une ligne desservie par téléphone . . . . 75 id.
c) pour une ligne de raccordement ayant plus de 1 kilomètre de longueur, une surtaxe par chaque kilomètre en sus, de. 20 id.

Si l'établissement d'un télégraphe privé est effectué pour le compte du particulier qui l'a demandé, l'administration ne perçoit en sus de l'indemnité pour l'entretien des fils éventuellement posés sur les poteaux de son réseau qu'une taxe de 50 marks par année pour le service du télégraphe annexe effectué par le bureau d'État auquel il est raccordé.

En ce qui concerne les lignes télégraphiques spéciales, l'administration n'a opéré qu'à la fin de 1889 une réforme des tarifs de ces établissements, en vue d'une réduction sensible des taxes y afférentes.

Les concessionnaires d'un télégraphe privé comprenant deux postes reliés par une ligne d'une longueur d'un kilomètre ou d'une fraction d'un kilomètre, paient annuellement :

a) s'il est desservi par des appareils Morse. . . . . 125 marks
b) id. téléphone. . . . . 75 id.
c) pour chaque kilomètre ou fraction de kilomètre en sus d'un kilomètre, une redevance additionnelle de. . . . . 30 id.
d) pour chaque poste additionnel, soit terminal, soit intermédiaire, une redevance additionnelle de :
α) quand il est desservi par un appareil Morse . . . . 50 id.
β) id. téléphone . . . . 25 id.

e) pour l'installation d'un deuxième, troisième, etc., appareil dans différents locaux d'un même immeuble appartenant à un seul et même propriétaire, une redevance annuelle de :

α)	au service à l'appareil Morse	45	id.
β)	id. par téléphone	20	id.

Lorsque le système est affecté à la correspondance entre les locaux de différents propriétaires, les redevances fixées sous les lettres *a*) et *b*) sont augmentées de 100 et respectivement 50, et celles sous *d*) de 50 et respectivement 25 marks, pour tout deuxième ou troisième propriétaire et ainsi de suite.

INFLUENCE EXERCÉE

SUR LES

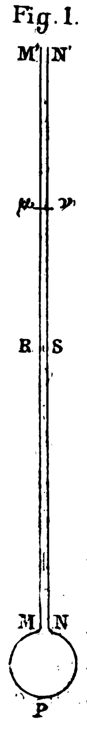
PHÉNOMÈNES DE RÉSONANCE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

PAR LA DISSYMÉTRIE DU CIRCUIT

LE LONG DUQUEL SE PROPAGENT LES ONDES (*)

L'un de nous a employé pour mesurer la longueur de l'onde électromagnétique correspondant à un résonateur la méthode suivante :

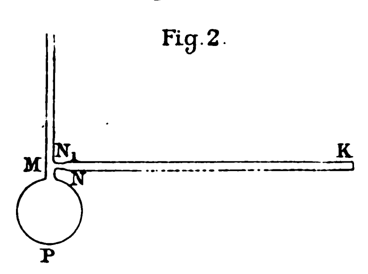
Un circuit PMM'N'N (*fig.* 1) comprend deux fils parallèles, MM', NN', réunis par un pont $\mu\nu$, qui peut être placé en un point quelconque de leur longueur ; à l'aide de l'excitateur récemment décrit, on envoie le long de MM' et de NN' des ondes électromagnétiques. Un résonateur est installé à poste fixe entre les deux fils, en RS ; l'expérience consiste à chercher par tâtonnements la position du pont $\mu\nu$ pour laquelle l'étincelle du résonateur disparaît ; la longueur du fil R$\mu\nu$S ainsi obtenue est la demi-longueur d'onde.



Nous nous sommes proposé d'étudier l'influence que pouvait exercer, dans ces expériences, une dissymétrie introduite à dessein, dans le circuit PMM'N'N. A cet effet, le fil

(*) Note de MM. R. Blondlot et M. Dufour, *Comptes rendus*, 15 février 1892.

NN′ est coupé vers son origine, N (*fig.* 2) et les deux sections N et N′ sont reliées par l'intermédiaire d'une anse ou boucle de cuivre NKN, dont on peut changer à volonté la longueur.



A l'aide de ce dispositif, nous avons reconnu le fait suivant : la longueur de la boucle n'a aucune influence sur la position du pont qui annule l'étincelle du résonateur ; autrement dit, la longueur d'onde mesurée à l'aide du résonateur est indépendante de la dissymétrie des deux fils qui transmettent les ondulations électromagnétiques.

L'expérience a été répétée un très grand nombre de fois, et dans les conditions les plus diverses : nous avons fait varier la longueur de la boucle de 0 à 30 mètres sans observer une variation appréciable de la longueur d'onde ; la dissymétrie était cependant extrême puisque, avec une boucle de 30 mètres, la longueur de fil comprise entre N et ν était 42 mètres, tandis que M μ était seulement 12 mètres.

Nous avons varié l'expérience en changeant la capacité et par suite la période du résonateur : toujours la longueur d'onde est demeurée indépendante de la longueur de la boucle.

Nos observations viennent donc étendre la portée du principe posé par MM. Sarasin et de la Rive, à savoir que la longueur d'onde est déterminée par le résonateur seulement : ces savants ont établi que la longueur d'onde est indépendante de l'excitateur et nous constatons qu'elle est indépendante de la dissy-

métrie des conducteurs qui transmettent les ondulations.

Cette indépendance ressort de la théorie de la résonance qui a été donnée par M. V. Bjerknes pour le cas de la propagation dans l'air, et qui, adaptée au cas de la propagation le long des fils métalliques, peut se formuler ainsi : chaque onde excitatrice élémentaire communique deux impulsions au résonateur, l'une à l'aller, par l'un des fils, l'autre, après avoir franchi le pont par l'autre fil. La seconde impulsion renforce ou annule l'effet de la première, selon que le résonateur a, dans l'intervalle, accompli un nombre pair ou impair de demi-oscillations. Donc le résonateur sera dans un état vibratoire très fort ou très faible selon que la longueur $R\mu\nu S$ sera un multiple pair ou impair de la demi-longueur d'onde qui correspond à ses vibrations propres.

La position du pont, pour la quelle l'oscillation disparaît dans le résonateur, est donc la même pour toutes les ondes qui se propagent le long des fils, quelles que soient leurs phases et quel que soit le sens de leur propagation; c'est précisément ce que l'expérience nous a montré.

Suivant que les différentes ondes qui viennent agir sur le résonateur seront plus ou moins concordantes, en raison des trajets qu'elles auront parcourus, les phénomènes de résonance, pour une position donnée du pont, autre que celle de l'extinction, devront être plus ou moins intenses, M. Poincaré nous a fait remarquer que, en conséquence, dans les expériences décrites plus haut, les phénomènes de résonance devaient être très forts lorsque la longueur de la boucle était $0, \lambda, 2\lambda, \ldots$ et très faibles lorsque cette lon-

gueur était $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$..... C'est ce que nous avons, en effet, constaté.

Toutefois, les maxima et minima correspondent à des longueurs de boucle un peu plus petites que les longueurs théoriques, cette perturbation peut s'expliquer par l'affaiblissement que les ondulations éprouvent lorsque le chemin qu'elles ont à parcourir devient plus long. A cause de cet affaiblissement le maximum de l'action totale des deux fils doit se produire pour un parcours de l'onde retardée un peu moindre que celui qui correspond à la concordance exacte des deux ondes, parce que l'onde retardée est ainsi moins affaiblie, ce qui compense et au delà l'effet d'une légère discordance; pour la même raison, l'annulation réciproque des deux ondes sera la plus complète pour un parcours de l'onde retardée, un peu plus petit que celui qui correspond à la discordance parfaite.

CHRONIQUE.

Observations sur l'électricité atmosphérique en ballon captif.

Note de M. E. SEMMOLA, présentée par M. MASCART.

Ces observations ont été faites à Naples avec le ballon captif l'*Uronia*. On fixa sur la paroi intérieure de la nacelle, au moyen d'un robuste isolateur, une barre de laiton verticale d'un demi-mètre de longueur, terminée au-dessus par un disque de laiton ayant un diamètre de 28 centimètres. Ce disque communiquait, par un fil de cuivre, avec la feuille d'or d'un électroscope à piles sèches placé dans la nacelle à peu près au même niveau. A la barre de laiton était soudé, en plusieurs points, le bout supérieur d'une corde de cuivre de 2 millimètres de diamètre, recouverte d'une double enveloppe isolante, l'intérieure en caoutchouc, l'extérieure en coton. Cette corde, longue de 280 mètres, descendait du ballon, se posait à longs zigzags sur un plancher tout près du sol, et allait communiquer par l'autre bout avec un second électroscope à piles sèches. On préféra disposer ainsi la corde plutôt que de l'enrouler autour d'un tambour à axe métallique pour éviter les frottements.

La journée était calme et sereine. A neuf heures du matin le ballon s'éleva, transportant avec lui la corde, et, en deux minutes, il parvint à la hauteur de 280 mètres, où il fut arrêté. Pendant l'ascension, la feuille d'or de l'électroscope supérieur et celle de l'électroscope inférieur dévièrent vers les pôles négatifs, indiquant ainsi toutes les deux de l'électricité positive; mais pourtant la déviation de l'électroscope inférieur fut beaucoup plus forte. Quelques secondes après le départ, la feuille d'or de l'électroscope inférieur commença à battre incessamment le pôle négatif de la pile, au contact duquel elle revenait vite dès qu'elle s'était détachée. Lorsque l'*Uronia* s'arrêta à 280 mètres, on mit en communication avec la terre le bout inférieur de la corde de cuivre et l'on en avertit les

observateurs, qui étaient dans la nacelle, par un sifflet parti de la chaudière de la locomobile qui servait à la traction. Aussitôt après le sifflet, la feuille d'or de l'électroscope inférieur s'arrêta dans la verticale, et celle de l'électroscope supérieur se tourna évidemment vers le pôle positif, indiquant ainsi de l'électricité négative. Lorsque la communication avec la terre fut enlevée, la feuille d'or inférieure recommença à dévier violemment vers le pôle négatif, et celle de l'électroscope supérieur recommença à dévier légèrement vers le pôle négatif. Cette observation fut répétée plusieurs fois, toujours avec le même résultat.

Dans une autre ascension, le bout inférieur de la corde fut mis en communication avec un électromètre Palmieri. Pendant que le ballon s'élevait, l'électromètre eut une déviation uniforme qui crut régulièrement. A la hauteur de 280 mètres, l'index marqua 50 degrés. Dès que fut mise la communication de la corde avec la terre, l'index revint à 0 degré. La communication étant supprimée, l'index dévia avec force pour un angle impulsif de plus de 70 degrés.

Cette méthode permet de reconnaître l'état électrique de la corde aux deux extrémités et de faire ainsi des observations simultanées. Jusqu'à présent, les observateurs ont opéré en ballon libre ou, restant sur terre, se sont servis d'un ballon captif pour élever une corde de cuivre qui descendait jusqu'au sol, où elle était mise en communication avec un électroscope. Dans le second cas, on eut habituellement des indications d'électricité positive; avec un ballon libre, portant dans la nacelle tous les appareils qui sont ainsi isolés dans l'espace, l'électricité observée fut négative. C'est ce qui arriva dans le mémorable voyage aérien de Gay-Lussac et Biot, et dans l'ascension de l'ingénieur Marcillac en 1886.

La méthode des observations simultanées, avec un ballon captif, pourrait donner sans doute de meilleurs résultats que ceux obtenus avec le ballon libre qui, dans sa course rapide, tantôt montant, tantôt descendant et changeant continuellement les conditions des lieux, ne peut fournir que des résultats complexes, incertains et difficiles à discuter.

(*Comptes rendus*, 15 février 1892.)

Perturbation magnétique des 13 et 14 février 1892.

Note de M. MOUREAU, présentée par M. MASCART.

Une perturbation magnétique extraordinaire, telle que nous n'en avons pas observé depuis dix ans, surpassant même en intensité celle de novembre 1882, a été enregistrée au magnétographe de l'observatoire du Parc Saint-Maur, les 13 et 14 février. Elle a débuté brusquement le 13 vers $5^h,42^m$ du matin, par une hausse simultanée de la déclinaison et de la composante horizontale, et par une baisse correspondante de la composante verticale. Les oscillations des deux premiers éléments sont rapides et d'assez grande amplitude pendant toute la journée du 13 ; depuis midi, la composante verticale augmente progressivement et passe par un maximum considérable entre 4 et 6 heures du soir. C'est à ce moment que se produit le minimum de la déclinaison, tandis que la composante horizontale ne présente rien de particulièrement remarquable.

La phase la plus importante de la perturbation se produit entre 11 heures du soir et 2 heures du matin. Le maximum absolu de la déclinaison est atteint entre minuit et 1 heure, tandis que les deux composantes passent par un minimum exceptionnel : la composante verticale vers 1 heure, et la composante horizontale entre 1 et 2 heures du matin. Les écarts sont tels, que les trois images sont sorties du champ, circonstance qui empêche de préciser les valeurs extrêmes, et l'instant auquel ces valeurs se sont produites.

Après 3 heures du matin, les oscillations encore très accentuées sont de moins grande amplitude, et, à partir de $6^h,30^m$, les trois aimants sont animés de mouvements vibratoires jusqu'à 9 heures, moment où l'on a renouvelé la feuille de papier sensible. La perturbation a cessé le 14 vers 5 heures du soir. L'écart total pour la déclinaison est de plus de $1°25'$; les composantes horizontale et verticale ont varié respectivement de plus de 1/37 et de 1/88 de leur valeur normale.

D'après les courbes des enregistreurs de Perpignan, de Lyon et de Nantes, communiquées par MM. le Dr Fines, André et

Larocque, le phénomène a débuté au même instant et les variations se reproduisent dans les quatre stations avec une telle fidélité, sauf quelques changements d'intensité pour certains détails, que les tracés des trois instruments se superposent exactement comme des calques d'un même dessin.

Cette perturbation se distingue nettement de toutes celles qui ont été enregistrées ici, par les variations excessives de la composante verticale.

Un groupe de taches solaires très important, apparu le 5 février, et qu'on a pu voir le 12 à l'œil nu, passait ce jour même au plus près du centre du disque apparent du soleil. Une aurore boréale très brillante a été signalée à New-York dans la nuit du 13 au 14.

(*Comptes rendus*, 15 février 1892).

Utilisation médicale des courants alternatifs à haut potentiel.

Note de MM. G. Gautier et J. Larat, présentée par M. Lippmann.

Nous sommes parvenus à utiliser, pour les usages médicaux, les courants alternatifs de haute tension fournis par l'usine centrale d'électricité des Halles, alimentant le secteur de la Ville de Paris. On sait que les dynamo qui produisent ces courants sont du type Ferranti-Patin; les alternances sont au nombre de 10.000 par minute, et la force électromotrice déterminée est de 2.000 volts. Il est superflu de faire remarquer que des courants possédant cette tension sont extrêmement dangereux.

Il était donc nécessaire, pour leur utilisation médicale, de leur faire subir une série de transformations, de façon à ne prendre que les fractions de volt et d'ampère ordinairement usités en électrothérapie. Voici comment nous avons procédé :

Le courant primaire de 2.000 volts subit, dans le sous-sol, une première transformation, qui nous l'amène à nos appareils sous une tension de 110 volts. Dès lors, le courant n'est

plus dangereux ; on peut, sans autre risque que celui d'une secousse très supportable, saisir à pleines mains les deux conducteurs.

Au moyen d'une série de transformateurs secondaires dont la construction a nécessité de longs tâtonnements, nous prenons ce courant de 110 volts, d'abord pour le faire passer dans l'eau d'une baignoire et dans le jet d'une douche, puis dans le fil de platine d'un galvano-cautère et enfin dans un ozoneur.

Le premier de ces transformateurs, celui qui est destiné aux bains et aux douches, peut donner de 0 volt à 5.000 volts. L'expérience nous a démontré qu'une gamme aussi étendue était inutile et, en réalité, nous employons une force électromotrice qui varie de 5 volts à 40 volts et une intensité de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{16}{1000}$ d'ampère. Nous n'utilisons donc qu'une faible partie du transformateur, ce qui nous est facile, car il est composé de dix bobines accouplées en tension et il nous est possible d'intercaler, à volonté, une ou plusieurs d'entre elles.

Un graduateur, composé d'un solénoïde et d'un noyau de fer doux mobile, nous permet de graduer d'une façon absolument insensible l'intensité du courant. Enfin les électrodes qui aboutissent à la baignoire sont des disques de charbon mobiles et non plus fixes, comme dans les appareils hydro-électriques habituellement employés. Cette mobilité des électrodes nous permet de localiser l'énergie maxima du courant dans une région déterminée du corps ou de le diffuser sur la totalité du tégument.

Tel est l'outillage dont nous disposons pour faire passer dans l'eau d'une baignoire en porcelaine et, conséquemment, isolante, le courant alternatif. Nous avons été conduits à établir ce dispositif par des conceptions théoriques et par des recherches expérimentales dues, en moyenne partie, à M. d'Arsonval, qu'il serait trop long d'exposer ici, mais qui peuvent se résumer en un fait : l'influence absolument remarquable que possèdent les courants alternatifs sur la nutrition.

Cette influence dérive, sans nul doute, de deux causes principales :

1° Le courant alternatif généralisé produit une sorte de

tétanisation légère de tout le système musculaire. Or, on sait que le muscle qui se contracte consomme;

2° Un tel courant ne porte point son action seulement sur les filets terminaux des nerfs moteurs, mais aussi sur les terminaisons des nerfs sensitifs et va, par une puissante action réflexe, solliciter les centres nerveux pour régulariser leur fonctionnement quand il est troublé. Il n'est donc pas surprenant de voir, comme nous l'avons constaté, le chiffre de l'urée augmenter et traduire fidèlement l'augmentation des échanges nutritifs. Théoriquement, il est donc permis d'espérer que les bains à courants alternatifs apporteront une modification favorable dans certaines affections ou états diathésiques qui s'accompagnent d'un ralentissement des échanges nutritifs, tels que l'obésité, la goutte, le rhumatisme, peut-être le diabète, etc., et dans les maladies causées par une dépression du système cérébro-spinal dont la neurasthénie est le type.

Nous ne voulons point, au bout de deux mois et demi d'expérience, faire entrer en ligne de compte des résultats cliniques. Ce n'est qu'avec un grand nombre de malades, suivis pendant un laps de temps suffisant, que l'on peut juger de l'utilité d'une méthode. Cependant, il faut bien que nous disions que nous avons remarqué l'action extrêmement favorable des courants alternatifs sur certaines affections cutanées s'accompagnant de prurit : un cas d'eczéma extrêmement rebelle a vu disparaître très rapidement le symptôme démangeaison, en même temps que les plaques eczémateuses pâlissaient.

Le second de nos transformateurs actionne un galvanocautère. Cet appareil, assez petit pour être, à la rigueur, logé dans le manche de l'instrument, permet de maintenir indéfiniment à l'incandescence le fil de platine. Il dépasse donc en commodité tous les cautères usités jusqu'à ce jour; le petit transformateur fournit 8 volts et de 1 à 6 ampères.

Enfin nous avons utilisé un troisième transformateur pour produire de l'ozone. Cet appareil, au contraire des deux premiers, est un organe d'une grande puissance. Il donne 1.000 volts avec 1 ampère 1/2 d'intensité. L'ozoneur est formé de lames de verre sur l'une des faces desquelles est collée une feuille

de métal. Ces lames sont séparées par une couche d'air de 2 millimètres; c'est au travers de cette couche d'air que jaillissent les effluves et que se forme l'ozone qui est projeté à l'extérieur par un ventilateur automatique mû par le courant électrique.

Nous avons ainsi pu produire des quantités considérables de ce gaz; nous ne sommes pas d'accord avec MM. Labbé et Oudin, au point de vue de sa composition chimique et de ses effets thérapeutiques.

On sait depuis longtemps que l'ozone produit par les décharges électriques est, en effet, contrairement à l'opinion de nos confrères, fortement mélangé de produits nitreux. Un flacon contenant une solution de potasse caustique a été mis en rapport avec l'ozoneur et nous avons fait barboter dans la solution 200 litres de gaz. Le contenu du flacon desséché a permis de reconnaître, par divers réactifs, la présence de l'azotate de potasse.

D'autre part, une série de vingt malades anémiques, tuberculeux, emphysémateux, etc., ont été traités, pendant plus de deux mois, sans résultat appréciable. Ce gaz semble, en outre, doué d'une certaine toxicité, car il détermine facilement des vertiges, de l'angine et même de la bronchite. Il est possible que ces accidents soient dus non à l'ozone, mais à l'acide azotique; mais, en tout cas, l'ozone engendré par des décharges électriques étant toujours mélangé de composés nitreux, nous devons conclure que le procédé qui consiste à produire ce gaz par l'électrisation de l'air est défectueux (*).

(*Comptes rendus*, 29 février 1892.)

Sur un condensateur étalon (**).

Note de M. H. ABRAHAM, présentée par M. LIPPMANN.

En vue d'effectuer une nouvelle détermination de v, j'ai établi un condensateur à lame d'air dont la capacité, voisine

(*) Nous avons le devoir d'adresser nos plus vifs remerciments à MM. Patin et Levavasseur, ingénieurs, qui nous ont prêté leur utile concours pour le calcul de nos courants et pour l'installation de nos appareils.

(**) Travail fait au laboratoire de physique à l'École normale supérieure.



de 500 unités C. G. S. électrostatiques, peut être calculée avec une précision atteignant le dix-millième.

C'est un condensateur à plateaux, avec anneau de garde. Il est placé au sein de l'atmosphère desséchée d'une enceinte métallique reliée au sol. Les surfaces conductrices sont constituées par l'argenture de deux dalles circulaires en glace de Saint-Gobain, épaisses de $2^{cm},3$, d'un diamètre de 35 centimètres. Toute la surface de ces dalles, tant leurs faces supérieure et inférieure que les bords, est argentée, en sorte que le verre sert uniquement de support rigide à la couche d'argent. Les faces utiles ont été, avant l'argenture, travaillées en verres d'optique, de manière à en faire des plans où un bon sphéromètre n'a pu déceler aucun défaut atteignant le micron.

L'un des plateaux conducteurs sert d'armature inductrice et repose, par l'intermédiaire de coussins de drap, sur des supports en paraffine. L'argenture de l'autre disque devant se décomposer en un plateau collecteur et un système de garde, on y a creusé, avec le burin d'acier d'une machine à diviser les cercles, un sillon circulaire d'environ 22 centimètres de diamètre, mettant le verre à nu. Le trait obtenu a $0^{mm},1$ de large et ses bords sont nets sans bavures; on a ainsi isolé le plateau collecteur du reste de l'argenture qui forme une sorte de boîte conductrice tout autour de lui : c'est le système de garde. Cette même dalle est percée en son centre d'un trou de $2^{mm},5$ de diamètre un peu évasé en cône vers la face travaillée. L'argenture a pénétré dans ce cône, et un obturateur en argent qui le ferme exactement est soudé à un fil qui, passant à travers la dalle, met le collecteur en communication avec l'appareil de mesure. La perturbation que cause ce contact métallique ne peut porter que sur le $\frac{1}{5000}$ de la surface et sur une très petite fraction de l'épaisseur; c'est assez dire qu'elle devra être négligée.

Tout ce système, collecteur et boîte de garde, est séparé du plateau inducteur par trois rondelles de quartz travaillées ensemble de manière à avoir même épaisseur; on les a placées d'ailleurs sous l'anneau de garde, afin qu'elles n'influent pas sur la charge du collecteur.

L'isolement par ces plaques de quartz, contrôlé à l'électros-

cope, a été trouvé excellent. Par contre, le ruban circulaire de verre qui isole le collecteur du système de garde présente une certaine conductibilité; mais cette conductibilité, mise en dérivation sur celle d'un méghom, ne l'a pas augmentée de $\frac{1}{50000}$; la résistance d'isolement est donc supérieure à 80 milliards d'ohms; c'est plus qu'il n'en fallait pour les mesures que j'ai entreprises.

Avec la largeur adoptée pour l'anneau de garde, 6cm,5, la correction relative à l'influence de ses bords extérieurs tombe au-dessous du $\frac{1}{50000}$, même pour une distance des plateaux égale à 1 centimètre: on n'en tient pas compte. De même la largeur du sillon isolant étant environ la $\frac{1}{2500}$ partie du diamètre du cercle collecteur, on a une approximation très largement suffisante (de l'ordre du millionième) en mesurant, au lieu du rayon de ce cercle, ce même rayon augmenté de la demi-largeur du ruban isolant.

Les dimensions linéaires du condensateur ont été mesurées exclusivement avec une machine à diviser étalonnée (*): le pas de vis est connu en chaque point au $\frac{1}{50000}$.

Pas de difficulté particulière pour la mesure du diamètre du collecteur. La surface a été trouvée rigoureusement circulaire, son diamètre étant de 21cm,8190 à moins de $\frac{1^{mm}}{200}$, ce qui fait connaître la surface au $\frac{1}{20000}$ de sa valeur.

Afin de pouvoir mesurer avec la machine à diviser l'écartement des plateaux, j'ai placé vis-à-vis de leur intervalle un micromètre sur verre préalablement étudié. L'argenture des disques constitue deux miroirs parallèles et l'on peut observer, par des réflexions successives, jusqu'à vingt images du micromètre. Il suffit d'en mesurer les distances. Pour cela, les rayons lumineux recueillis par une lentille achromatique sont renvoyés par deux prismes à réflexion totale le long de la machine à diviser, où ils donnent des images réelles du micromètre: on les examine avec un microscope à réticule porté par le chariot, et l'on n'a à mesurer que la petite diffé-

(*) Je tiens à adresser ici mes vifs remerciements à M. Benoît, directeur du Bureau international des poids et mesures, qui a bien voulu mettre à ma disposition le mètre normal du Bureau, et a même eu l'obligeance de me prêter son précieux concours pour l'étalonnement de la machine.

rence entre les traits extrêmes du micromètre et les faces des plateaux. Ce procédé optique a l'avantage de faire la mesure de la distance, l'appareil étant monté: j'ai constaté que cette distance varie de quelques microns à chaque démontage, en sorte qu'il serait illusoire de la confondre avec l'épaisseur des rondelles de quartz. En outre, on tient compte ainsi d'une flexion possible des dalles de verre, et la distance que l'on mesure est celle des surfaces optiques moyennes des armatures, qu'il y a tout lieu de croire identiques à leurs surfaces électriques moyennes.

L'épaisseur de la lame d'air est ainsi déterminée avec la précision même des pointés au microscope, c'est-à-dire au micron ; l'erreur possible sur cette épaisseur et, par suite, sur la capacité, ne paraît donc pas devoir dépasser $\frac{1}{10000}$ lorsque la distance des plateaux est de 1 centimètre.

(*Comptes rendus*, 21 mars 1892.)

Sur l'apparition de l'électricité négative, par beau temps.

Note de M. Ch. André, présentée par M. E. Mascart.

L'existence, dans l'atmosphère, d'électricité négative par beau temps, est un fait rare, classé jusqu'ici comme un phénomène accidentel et auquel on a cherché une origine spéciale, étrangère au fond même des théories électro-atmosphériques les plus en faveur.

Exner l'attribue à la présence de poussières électrisées par frottement contre le sol; Palmieri, de son côté, dit avoir constaté que cette électricité négative était toujours concomitante « d'une pluie voisine dont les nuages producteurs étaient au-dessous de l'horizon du lieu d'observation ». Or voici trois cas, constatés à l'observatoire de Lyon, dans ces dernières années, qui ne se prêtent ni à l'une, ni à l'autre de ces explications.

Le 24 juin et le 15 septembre 1885, ainsi que le 10 juillet 1889, par vent de sud, temps beau et chaud sur presque toute la France (les seules pluies constatées sont : orage à Bordeaux,

le 24 juin, orage à Sainte-Honorine-du-Fay, le 15 septembre) et vent parfois modéré (vitesse maximum le 24 juin, $6^{m},4$ par seconde), le minimum électrique de l'après-midi se creuse, de façon que, de midi à 2 heures, la courbe électrique passe au négatif et y reste pendant une heure ou deux, sans que pour cela l'allure générale de la courbe enregistrée diffère sensiblement de son allure ordinaire.

Ces faits, que l'emploi de la méthode d'enregistrement permet seule de bien constater, ne peuvent être attribués à la présence de poussières électrisées; car, dans aucun de ces cas, nous n'avons remarqué que le vent en amenât; et d'ailleurs, si telle était leur origine, nous devrions les observer bien plutôt par vent du nord, puisque nous sommes au midi d'une grande agglomération industrielle : c'est ce qui n'a pas lieu. On ne peut pas non plus les rattacher à une pluie voisine; car le 10 juillet on n'en constate aucune, des Alpes jusqu'à l'Océan.

L'existence de cette électricité négative, toujours à la même heure, se rattache évidemment aux conditions atmosphériques remarquables communes à ces trois jours : 1° distribution anormale, dans nos régions, de la température suivant la verticale, tellement que le 15 septembre le minimum du Puy-de-Dôme surpasse de 9° celui de Clermont-Ferrand; 2° une très grande sécheresse relative de l'atmosphère.

Ainsi le minimum absolu de l'état hygrométrique du 24 juin, dont l'heure est voisine du milieu de cette chute négative, est le minimum absolu de l'humidité relative pour la période de juin, juillet et août des huit ans écoulés de 1883 à 1891.

Pour conclure, nous dirons que cette apparition d'électricité négative par beau temps nous paraît être l'exagération d'un mode de variation diurne de l'électricité atmosphérique qui la comprendrait comme cas particulier, d'ailleurs fort rare dans nos régions, et qu'ainsi elle est une des données sur lesquelles toute théorie complète de l'électricité atmosphérique doit être fondée.

(*Comptes rendus*, 21 mars 1892.)

Sur l'attraction de deux plateaux séparés par un diélectrique.

Note de M. JULIEN LEFÈVRE, présentée par M. LIPPMANN.

J'ai mesuré l'attraction de deux plateaux électrisés, séparés par un diélectrique non en contact intime avec eux, et vérifié qu'elle était représentée par la formule suivante :

$$\frac{F}{F'} = \left(\frac{e + e'}{\frac{e}{K} + e'}\right)^2, \tag{1}$$

en appelant F′ l'attraction des deux plateaux à la distance $e + e'$ dans l'air; F l'attraction à la même distance lorsqu'on a placé entre les plateaux une lame isolante à faces parallèles d'épaisseur e; e' représente donc la somme des épaisseurs d'air situées de part et d'autre de cette lame; K est la constante diélectrique de la plaque.

Je me sers de deux plateaux horizontaux et d'une balance de précision dont le fléau porte, à une extrémité, un plateau ordinaire pour recevoir des poids, à l'autre, le plateau mobile de l'appareil électrique, qui a 12 centimètres de diamètre et est suspendu au fléau par une tige isolante. Ce plateau est entouré d'un anneau de garde, muni d'une sorte de couvercle, qui est seulement percé d'un trou pour laisser passer la tige isolante.

Le plateau fixe, qui a 19 centimètres de diamètre, est placé au-dessous du premier et porté par un support isolant à vis calantes, qui permet de faire varier la distance $e + e'$. Ce support est traversé par trois tiges isolantes qui soutiennent le diélectrique. De part et d'autre de celui-ci, on laisse des épaisseurs d'air aussi faibles que possible, il faut cependant laisser au plateau mobile la possibilité d'accomplir de petites oscillations.

La source d'électricité est une bobine de Ruhmkorff, actionné par six éléments Bunsen; l'un des pôles de la bobine communique avec le plateau fixe et avec l'armature intérieure d'une jarre dont la capacité est, suivant les cas, 70 à 150 fois plus grande que celle du condensateur formé par les pla-

teaux. L'autre pôle, l'armature extérieure de la jarre, le plateau mobile et le fléau de la balance sont reliés au sol.

Tout l'appareil, sauf le plateau qui reçoit les poids, est placé dans une cage dont l'air est desséché.

Les plaques de soufre et de paraffine sont obtenues par fusion, dans un moule dont le fond est rendu horizontal par un niveau à bulle d'air. L'épaisseur des lames solides est mesurée avec une vis à deux pointes et un cathétomètre. La distance $e + e'$ des deux plateaux est aussi mesurée au cathétomètre.

Le diélectrique est placé dans la cage quelques jours avant l'expérience pour lui laisser perdre toute trace d'électricité.

La balance contenant une tare un peu trop faible et toutes les pièces communiquant avec le sol, j'achève d'établir l'équilibre avec un poids p. J'électrise ensuite le plateau fixe et j'établis de nouveau l'équilibre par un poids P. Je remets ce plateau en communication avec le sol et j'équilibre encore par un poids p' :

$$F = P - \frac{p + p'}{2}.$$

L'attraction F′ est déterminée de même par trois opérations.

J'opère de même pour les liquides, mais en mesurant d'abord F′, puis F, afin d'éviter l'évaporation. L'épaisseur d'air e' subit dans ce cas une petite correction qui consiste à remplacer l'épaisseur de la lame de verre formant le fond de la cuve qui reçoit le liquide par l'épaisseur d'air équivalente.

Dans chaque expérience, je calcule le rapport $\frac{F}{F'}$, puis le rapport corrigé.

$$R = \frac{F}{F'}\left(\frac{e + Ke'}{e + e'}\right)^2.$$

D'après (1), on doit avoir

$$\sqrt{R} = K.$$

Le tableau suivant, dans lequel e et e' sont exprimés en centimètres, F et F′ en milligrammes, montre que les valeurs

de $\sqrt{R}$ concordent avec les valeurs de K que j'ai obtenues au moyen de la balance de Coulomb (*).

La formule est donc exacte et, en particulier, dans le cas où e devient négligeable, on a :

$$\frac{F}{F'} = K^2.$$

DIÉLECTRIQUES.	e	e'	F	F'	$\frac{F}{F'}$	R	$\sqrt{R}$	K
Paraffine n° 1	2,20	0,70	39,50	17,25	2,29	3,53	1,88	2
	»	0,66	40,50	14,00	2,89	4,38	2,09	»
Paraffine n° 2	3,37	0,61	30,50	9,00	3,39	4,51	2,12	»
	»	0,68	23,50	7,25	3,24	4,42	2,10	»
Soufre	3,56	0,54	48,50	9,75	4,97	7,27	2,70	2,6
	»	0,65	53,50	13,00	4,11	6,39	2,52	»
Ébonite	2,04	0,32	72,75	18,75	3,88	5,39	2,32	2,3
Sulfure de carbone	2,60	1,09	22,00	11,50	1,91	2,78	1,67	1,7
Essence de térébenthine	2,77	0,79	26,25	13,00	2,02	2,49	1,58	1,5
Pétrole	2,88	0,71	19,50	8,00	2,43	3,38	1,84	1,9

Je ferai remarquer, en terminant, que l'attraction de deux plateaux se prête parfaitement à la mesure des constantes diélectriques; c'est une méthode simple, rapide et n'exigeant qu'une balance de précision: elle est donc préférable à tous les procédés actuellement en usage.

(*Comptes rendus*, 4 avril 1892.)

Sur les spectres électriques du gallium.

Note de M. Lecoq de Boisbaudran.

Quand on fait éclater l'étincelle (non condensée) d'une bobine à long fil à la surface d'une solution de chlorure de gallium, on obtient un spectre comprenant les deux raies violettes caractéristiques et une large bande verte, très nébuleuse, qui paraît être due à l'oxyde de gallium. C'est le spectre que j'ai déjà décrit, mais dont je rappelle ici la composition, afin de permettre d'établir une comparaison entre les spectres du gallium produits par les diverses espèces d'étincelles.

(*) *Comptes rendus*, 16 novembre 1891.

Solution de chlorure de gallium. Bobine à long fil.

Mon micromètre.	λ	
129,75 env.	509,04	Commencement indécis d'une bande ayant son maximum de lumière placé à peu près sur son centre. Intensité généralement modérée, mais facilement visible avec une solution concentrée de Ga^2Cl^6. Cette bande porte plusieurs raies nébuleuses et peu distinctes.
133,00 env.	502,33	Maximum de lumière.
136,50 env.	495,50	Fin vague.
α. 193,67	417,04	Raie étroite. Forte (*).
β. 208,78	403,19	Raie étroite. Bien marquée, mais beaucoup moins que 193,67.

Si la même bobine à long fil est mise en communication avec un condensateur, si l'on tire l'étincelle sur du gallium métallique, on obtient un spectre bien plus complexe, quoique ne contenant plus la bande nébuleuse 133,00. Les deux raies étroites violettes sont toujours belles, mais leur éclat a plutôt diminué. Il n'est pas nécessaire d'employer une grande bouteille de Leyde; quelques centimètres carrés de surface condensante suffisent avec la bobine à long fil de $0^m,30$. J'ai successivement opéré dans l'air, dans l'acide carbonique et dans l'hydrogène, afin d'éviter, autant que possible, que des raies du gallium fussent masquées par les raies très vives que fournissent les gaz soumis à l'action des étincelles condensées. Cependant une raie du gallium qui existerait au voisinage de la raie rouge de l'hydrogène aurait pu m'échapper, car il est difficile d'opérer pratiquement dans des gaz absolument secs et la raie rouge de H s'élargit notablement sous l'influence du condensateur.

Gallium. Étincelle condensée.

Mon micromètre.	λ	
85,94 env.	645,27	Raie étroite. Assez facilement visible. Tombe bien près de la principale raie de l'étain ($Sn = \lambda = 645,2$ Thalen), mais ne paraît cependant pas appartenir à Sn, car le chlorure du Ga employé ne précipitait pas par H^2S. Après traitement prolongé par H^2S, le gallium fut régénéré et donna la raie 85,94 avec la même intensité relative.

(*) Pour les raies 193,67 et 208,78, j'adopte ici les moyennes entre les mesures de MM. Delachanal et Mermet et les miennes. Je ferai d'ailleurs remarquer que mon instrument, anciennement construit, ne permet pas d'obtenir un degré d'exactitude comparable à celui qu'on réalise souvent aujourd'hui dans la mesure des λ. Mes nombres ne doivent donc être considérés que comme seulement très approchés.

ξ	86,81 env.	641,24	Raie étroite. Très bien marquée. Beaucoup plus forte que 85,94.
	87,26 env.	639,23	Raie étroite. Assez faible à nulle. Cette raie ne se voit nettement que lorsque la surface du condensateur est extrêmement petite.
β	88,80	632,67	Raie étroite. Assez forte. Très notablement plus forte que 86,81.
κ	97,01	599,49	Raie étroite. Assez bien marquée. Gagne sensiblement en éclat relatif quand la surface du condensateur augmente.
θ	101,19	585,15	Raie étroite. Bien marquée. Un peu plus faible que 86,81. Gagne à l'accroissement du condensateur; arrive même ainsi à dépasser un peu 86,81.
	102,64 env.	580,14	Raie étroite ou légèrement nébuleuse. Assez faible ou très modérée. Gagne un peu par accroissement du condensateur. Tombe près d'une forte raie de l'étain (Sn $=\lambda=579,8$, Thalen), mais ne paraît pas appartenir à Sn, vu la purification du Ga par H^2S et parce qu'une petite différence de position d'avec la raie Sn a été constatée par comparaison directe des deux raies.
ε	114,82 env.		Bord gauche, très nébuleux, du maximum de lumière. Se dégrade encore jusque vers 114.
	115,30	542,89	Milieu du maximum de lumière d'une grosse raie, ou petite bande, très bien marquée. Cette position varie légèrement avec l'intensité de la lumière.
	115,78 env.		Bord droit du maximum de lumière. Un peu nébuleux.
η	117,01 env.		Bord gauche, très nébuleux, du maximum de lumière. Se dégrade encore notablement vers la gauche.
	117,58	536,95	Milieu du maximum de lumière d'une grosse raie, ou petite bande bien marquée, mais sensiblement moins forte que 115,30. Cette position varie légèrement avec l'intensité de la lumière.
	117,93 env.		Bord droit du maximum de lumière. Un peu nébuleux.
	118,76 env.	533,97	Raie nébuleuse. Un peu liée à G avec la bande 117,58 et légèrement dégradée à droite. Facilement visible, mais beaucoup plus faible que 117,58.
	124,17	521,26	Raie nébuleuse. Assez facilement visible. Un peu moins vive que 118,76, mais plus grosse. Moins large que 117,58.
	134,50 env.	499,33	Raie étroite. Facilement visible. N'est pas à Pb, non plus qu'à Bi, vu l'absence des principales raies de ces métaux. Ne se voit pas dans l'hydrogène avec des électrodes de platine ou d'or, sans gallium.
γ	141,54 env.	486,46	Raie étroite, ou à peine nébuleuse. Très bien marquée ou assez forte. N'est pas à l'hydrogène, vu la différence de position constatée par comparaison directe (H $=486,1$) et vu la différence d'aspect dans les conditions de l'expérience.
	174,35 env.	438,22	Raie nébuleuse. Large de $0^d,90$ environ de mon micromètre. Légèrement dégradée à D et G. Facilement visible. Gagne en intensité relative avec l'accroissement du condensateur. Avec une très faible condensation, devient beaucoup moins marquée que 124,17. A été vue presque étroite dans une atmosphère d'hydrogène.

	Mon micromètre.	λ	
δ	184,58 env.		Bord gauche, nébuleux mais pas vague, d'une bande d'intensité presque uniforme. Légèrement dégradée à D et G. Devient moins large dans l'hydrogène et se résout alors presque entièrement en deux raies nébuleuses écartées de 2/3 à 3/4 de division (de mon micromètre) et centrées à peu près sur le milieu de la bande. La raie de G est légèrement plus forte que celle de D.
	185,51 env.	425,58	Milieu. Cette bande, très bien marquée, est très apparente, à cause de sa largeur.
	186,44 env.		Bord droit, nébuleux mais pas vague.
α	193,67	417,04	Raie étroite. Assez forte, ou forte.
ι	208,78	403,19	Raie étroite, ou légèrement nébuleuse. Bien marquée.

Soumis à l'action des étincelles de la bobine à court fil de M. Demarçay, le gallium métallique fournit un spectre qui diffère beaucoup de celui qu'on obtient avec la bobine à long fil armée du condensateur; car, en dehors des deux raies violettes 193,67 et 208,78, on ne voit plus que deux raies un peu saillantes, savoir : 86,81 et 87,26; mais cette dernière raie, si faible dans l'étincelle condensée, est ici très facilement visible. La raie assez forte β 88,80 de l'étincelle condensée se trouve au contraire réduite à une faible intensité. Enfin il y a, dans le vert, une raie nébuleuse qui paraît appartenir au gallium et que je n'ai pas observée avec l'étincelle condensée. Cette raie tombe entre les raies 117,58 et 118,76 décrites plus haut.

Gallium. Bobine Demarçay.

	Mon micromètre.	λ	
δ	86,81 env.	641,24	Raie étroite. Facilement visible.
γ	87,26 env.	639,23	Raie étroite. Très facilement visible. Notablement plus forte que 86,81.
	88,80	632,67	Raie étroite. Assez faible et même parfois très faible.
ι	118,15	535,51	Raie nébuleuse. Assez grosse (1/3 de division environ). Assez faible, ou modérée quand le Ga est oxydé, mais facilement visible quand le métal est propre.
α	193,67	417,04	Raie étroite. Forte.
β	208,78	403,19	Raie étroite. Assez forte.

On voit quels curieux changements le spectre du gallium subit quand on fait varier la nature de l'étincelle. Comme des changements analogues se produisent, d'une façon plus ou moins remarquable, avec presque tous les corps, il est bien nécessaire de définir les conditions dans lesquelles on a obtenu les spectres électriques.

(*Comptes rendus*, 4 avril 1892.)

ment et aux modifications successives qu'il a paru nécessaire d'y apporter.

Cet exposé est divisé en trois parties concernant :

La première, les *réseaux urbains;*

La deuxième, les *réseaux interurbains;*

La troisième, les *bureaux téléphoniques municipaux*, qui constituent les trois modes de l'exploitation téléphonique.

Ire PARTIE.

RÉSEAUX URBAINS.

A la date du 1er septembre 1889, les réseaux téléphoniques urbains fonctionnant en France étaient soumis à deux régimes différents d'exploitation : l'exploitation par l'État et l'exploitation par l'industrie privée.

Cette situation créait une diversité très grande de tarifs d'abonnements ; ils étaient :

1° *Dans les réseaux exploités par l'industrie privée :*

(*a*) A 600 francs pour les abonnements principaux à Paris ;

(*b*) A 400 francs pour les abonnements principaux dans les autres réseaux ;

(*c*) A 200 francs à Paris et dans les réseaux des départements pour les abonnements supplémentaires comportant l'usage d'un poste greffé.

Pour les abonnés propriétaires d'établissements publics, qui mettaient le téléphone à la disposition de leur clientèle, l'abonnement double de l'abonnement normal élevait à 1.200 francs à Paris, à 800 francs dans les autres réseaux, les redevances annuelles exigibles des abonnés de cette catégorie.

Il n'existait aucun réseau dans les localités voisines

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 **Juillet-Août**

RAPPORT

À

M. LE DIRECTEUR GÉNÉRAL DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES

SUR

LE SERVICE TÉLÉPHONIQUE

ANNÉES 1890 ET 1891

Paris, le 1er juin 1892.

MONSIEUR LE DIRECTEUR GÉNÉRAL,

Les lois en date du 16 juillet 1889 et du 20 mai 1890 ont donné mission au gouvernement de rendre compte, chaque année, au Parlement de la situation des réseaux téléphoniques urbains et interurbains établis en exécution de ces lois, c'est-à-dire au moyen des avances faites à l'État par les villes, les établissements publics, les syndicats ou les particuliers. Les documents publiés à la suite du projet de loi de finances donnent à cet égard tous les renseignements désirables.

Mais j'ai pensé qu'il serait utile de vous présenter un exposé aussi complet que possible de la situation générale du service téléphonique à la date du 1er janvier 1892 avec les documents relatifs à son développe-

ment et aux modifications successives qu'il a paru nécessaire d'y apporter.

Cet exposé est divisé en trois parties concernant :

La première, les *réseaux urbains;*

La deuxième, les *réseaux interurbains;*

La troisième, les *bureaux téléphoniques municipaux*, qui constituent les trois modes de l'exploitation téléphonique.

Ire PARTIE.

RÉSEAUX URBAINS.

A la date du 1er septembre 1889, les réseaux téléphoniques urbains fonctionnant en France étaient soumis à deux régimes différents d'exploitation : l'exploitation par l'État et l'exploitation par l'industrie privée.

Cette situation créait une diversité très grande de tarifs d'abonnements ; ils étaient :

1° *Dans les réseaux exploités par l'industrie privée :*

(*a*) A 600 francs pour les abonnements principaux à Paris ;

(*b*) A 400 francs pour les abonnements principaux dans les autres réseaux ;

(*c*) A 200 francs à Paris et dans les réseaux des départements pour les abonnements supplémentaires comportant l'usage d'un poste greffé.

Pour les abonnés propriétaires d'établissements publics, qui mettaient le téléphone à la disposition de leur clientèle, l'abonnement double de l'abonnement normal élevait à 1.200 francs à Paris, à 800 francs dans les autres réseaux, les redevances annuelles exigibles des abonnés de cette catégorie.

Il n'existait aucun réseau dans les localités voisines

des diverses villes sièges des réseaux concédés et notamment dans la banlieue parisienne.

2° *Dans les réseaux exploités par l'État :*

A 200 francs pour les abonnements principaux dans les réseaux comprenant moins de 200 abonnés, à 150 francs dans les réseaux comprenant plus de 200 abonnés.

Les cercles et établissements publics acquittaient, comme dans les réseaux concédés, un abonnement double de l'abonnement normal.

D'autre part, et afin de développer dans des conditions économiques pour les abonnés l'usage du téléphone autour des villes, sièges de ses réseaux, l'État avait prévu l'organisation de réseaux annexes qu'il rattachait au réseau principal; on évitait ainsi aux abonnés la dépense onéreuse de l'établissement d'une ligne spéciale.

Les abonnés aux réseaux annexes acquittaient le même abonnement que les abonnés au réseau principal augmenté d'un supplément de 10 francs par kilomètre de fil pour l'usage de la ligne de rattachement des deux bureaux centraux.

Organisation actuelle.

Classification des réseaux. — Actuellement les réseaux téléphoniques urbains ont été classés en trois catégories :

1° Les réseaux souterrains;

2° Les réseaux aériens principaux et annexes;

3° Les réseaux spéciaux à conversations taxées.

Les réseaux des deux premières catégories sont destinés à assurer le service proprement dit de la correspondance urbaine.

Les réseaux de la troisième catégorie ont surtout

pour objet d'assurer l'échange des communications interurbaines à partir du domicile des abonnés. Leur installation a lieu dans les villes où viennent aboutir des circuits téléphoniques interurbains et dont l'importance locale ne justifierait pas la création d'un réseau urbain proprement dit. Toutes les conversations échangées de réseau à réseau sont taxées d'après le tarif des communications interurbaines. Les communications échangées entre les abonnés d'un même réseau spécial sont taxées à raison de 50 centimes par 5 minutes de conversation, minimum du tarif interurbain.

Tarifs d'abonnement. — Les tarifs d'abonnement ont été fixés ainsi qu'il suit par des décrets successifs.

Abonnement principal. — Dans le réseau souterrain de Paris. 400 fr.

Dans le réseau souterrain de Lyon. . . . 300 fr.

(*Décret du* 31 *mai* 1890.)

Dans les réseaux des villes comportant une population supérieure à 25.000 âmes. . . . . 200 fr.

(*Décret du* 7 *novembre* 1890.)

Dans les réseaux aériens des villes comportant une population inférieure à 25.000 âmes. . . . . 150 fr.

(*Décret du* 7 *novembre* 1890.)

Le montant de l'abonnement principal est réduit de 50 p. 100 au profit des établissements de l'État et de 25 p. 100 au profit des établissements des départements et des communes.

Il est augmenté de moitié pour ceux des établissements privés ouverts au public, tels que cafés, restaurants, etc., dont les propriétaires déclarent qu'ils veulent mettre le téléphone à la disposition de leur clientèle. (*Décret du* 31 *mai* 1890.)

Dans les réseaux spéciaux à conversations taxées. 50 fr.

(*Décret du* 23 *mars* 1891.)

Abonnements supplémentaires. — Poste desservi par une ligne greffée sur la ligne de l'abonné principal :

Dans le réseau souterrain de Paris . . . . 160 fr.
et, dans tous les autres réseaux des départements, 120 fr.

(*Décret du* 31 *mai* 1890).

Les abonnements supplémentaires comportant l'usage de postes greffés peuvent être souscrits, que le poste soit installé dans l'immeuble ou en dehors de l'immeuble où se trouve placé le poste principal. La facilité donnée aux abonnés de se réunir pour faire usage d'une même ligne n'existait autrefois qu'au profit des personnes habitant la même maison.

Abonnements de saison. — Il a été institué des abonnements dits *de saison* que tout particulier peut contracter pour une durée de six mois, à une époque quelconque de l'année, et pour un prix égal à la moitié seulement de l'abonnement normal.

Recouvrement du montant de l abonnement à domicile. — La faculté a été laissée aux abonnés de faire recouvrer leurs quittances d'abonnement à domicile.

Frais de premier établissement. — Les abonnés sont tenus de faire l'achat des appareils, l'installation des postes d'abonnés est faite gratuitement. La redevance de 75 francs antérieurement perçue pour cette installation a été supprimée.

Dans les réseaux souterrains, les lignes qui rattachent le domicile des abonnés au bureau central sont établies aux frais de l'État.

Dans les réseaux aériens, chaque abonné contribue

aux frais d'établissement de la ligne qui dessert son poste à raison de 150 francs par kilomètre de fil.

Pour les postes d'abonnement greffés, dans les deux cas, les frais de premier établissement sont payés par l'abonné.

Télégrammes téléphonés. — L'abonné a le droit de transmettre et de recevoir ses télégrammes par téléphone. Ce service est fait gratuitement dans tous les réseaux aériens et moyennant un supplément d'abonnement de 50 francs dans les réseaux souterrains (*Décret du* 20 *octobre* 1889).

L'abonné peut, en outre, sans avoir à acquitter aucune redevance supplémentaire, utiliser sa ligne pour l'échange des communications interurbaines, sous la réserve du payement de la taxe spéciale à chaque circuit.

Durée et résiliation des contrats. — La durée du contrat initial précédemment fixée à trois ans (*Décret du* 21 *septembre* 1889) a été réduite à un an (*Décret du* 31 *mai* 1890).

La faculté de résiliation dont l'abonné ne bénéficiait que d'année en année (*Décret du* 21 *septembre* 1889) lui est aujourd'hui laissée par trimestre après la première année (*Décret du* 31 *mai* 1890).

Lignes auxiliaires. — Enfin des lignes auxiliaires peuvent être mises, par voie d'abonnement, dans les réseaux téléphoniques urbains, à la disposition des abonnés, pour leur permettre de communiquer entre eux, deux par deux d'une manière permanente.

Le tarif de cet abonnement est fixé à 150 francs pour les réseaux souterrains et à 37f,50 pour les réseaux aériens, par an et par kilomètre de ligne (*Décret du* 14 *mars* 1890).

Réseaux annexes. — La création des réseaux annexes a été définitivement organisée et réglementée.

(*Décrets des* 18 *janvier et* 29 *mars* 1890.)

Ces réseaux peuvent être établis dans toutes les communes en mesure de réunir un minimum de cinq abonnements.

Les redevances à payer comprennent :

1° L'abonnement au réseau principal;

2° Un abonnement supplémentaire calculé à raison de 10 francs par kilomètre de ligne reliant le bureau central annexe au bureau central du réseau principal, que cette ligne soit à simple ou à double fil.

Cette disposition a permis de créer autour des grandes villes et principalement de Paris un grand nombre de petits réseaux qui viennent compléter les réseaux principaux.

Le réseau annexe est, en outre, considéré comme ayant une existence propre et indépendante du réseau principal. Il forme également un réseau local ; les abonnés qui ne veulent pas contracter l'abonnement au réseau principal ont la faculté de ne souscrire que l'abonnement au réseau local, lequel ne donne droit de correspondre gratuitement que dans les limites de la localité. Ce dernier abonnement est de 150 ou 200 fr., suivant que la population est inférieure ou supérieure à 25.000 âmes. Pour correspondre en dehors du réseau local, les abonnés de cette catégorie acquittent la taxe des communications interurbaines.

Situation des réseaux urbains.

A la date du 1er septembre 1889, l'État exploitait 29 réseaux principaux ou annexes.

Le tableau suivant indique les noms de ces réseaux :

Réseaux urbains exploités par l'État au 1er septembre 1889.

DÉPARTEMENTS	NOMS DES RÉSEAUX		DATE de la mise en service
	principaux	annexes	
Somme	Amiens		1er mai 1886
Nord	Armentières		1er juin 1885
Pas-de-Calais	Boulogne-sur-Mer		1er janv. 1886
Calvados	Caen		16 nov 1886
Alpes-Maritimes	Cannes		1er mars 1886
Nord	Dunkerque		15 oct. 1884
		Bergues	1er mai 1886
Seine-Inférieure	Elbeuf		25 nov. 1884
Nord	Fourmies		1er févr. 1887
Id.	Id.	Anor	17 févr. 1887
		Avesnes	18 mai 1887
		Glageon	17 févr. 1887
		Sains	23 févr. 1887
		Trélon	6 juill. 1887
		Wignehies	7 févr. 1887
Id.	Halluin		11 févr. 1884
Id.	Lille		1er mai 1882
Id.	Id.	Don-Annœulin	21 mars 1887
		Séclin	15 juill. 1889
Haute-Vienne	Limoges		20 mai 1889
Meurthe-et-Moselle	Nancy		17 déc. 1884
Alpes-Maritimes	Nice		22 déc. 1886
Marne	Reims		1er avril 1883
Id.	Id.	Pontfaverger. Warmériville	22 août 1887
Nord	Roubaix		1er avril 1883
Id.	Tourcoing		Id.
Aisne	Saint-Quentin		1er janv. 1884
Aube	Troyes		1er avril 1884

Par suite du rachat des réseaux concédés à la Société générale des téléphones, l'État a repris, à cette date, l'exploitation de 11 réseaux.

Réseaux urbains repris par l'État au 1er septembre 1889.

DÉPARTEMENTS	NOMS DES RÉSEAUX	DATE de la mise en service
Alger	Alger	2 mai 1883
Gironde	Bordeaux	1er juin 1881
Pas-de-Calais	Calais	1er août 1883
Seine-Inférieure	Le Havre	1er sept. 1881
Rhône	Lyon	19 nov 1880
Bouches-du-Rhône	Marseille	1er juill. 1880
Loire-Inférieure	Nantes	15 janv. 1881
Oran	Oran	10 août 1883
Seine	Paris	25 sept. 1879
Seine-Inférieure	Rouen	1er janv. 1883
Loire	Saint-Etienne	1er oct. 1885

Sous le régime des dispositions de la loi du 16 juillet

1889, 14 réseaux dont 7 réseaux principaux et 7 réseaux annexes ont été mis en service au cours de l'année 1890.

Le tableau suivant fournit la désignation de ces réseaux.

Réseaux ouverts en 1890.

DÉPARTEMENTS	NOMS DES RÉSEAUX principaux	NOMS DES RÉSEAUX annexes	DATE de la mise en service
Côte-d'Or	Dijon		1er novembre 1890.
Doubs	Besançon		1er juin 1890.
Isère	Grenoble		1er avril 1890.
Isère	Vienne		*Idem.*
Nord	Valenciennes.		15 décembre 1890.
Nord	Douai		*Idem.*
Nord	(*Lille*)	Saint-Amand-les-Eaux.	3 février 1890.
Seine	(*Paris*)	Montmorency	9 août 1890.
		Enghien	23 août 1890.
		Choisy-le-Roi	4 septembre 1890.
		Ivry	20 décembre 1890.
		Puteaux-Suresnes	1er juillet 1890
		Saint-Denis	15 octobre 1890.
Seine-Inférieure	Dieppe		1er août 1890.

En 1891, 58 réseaux ont été mis en service, dont 21 réseaux principaux, 32 réseaux annexes et 5 réseaux spéciaux à conversations taxées.

A la date du 31 décembre 1891, 46 réseaux étaient en construction.

Réseaux ouverts en 1891.

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversations taxées	DATE de la mise en service
Alpes-Maritimes	Menton			1er janv.
Ardennes	Mézières-Charleville			1er —
Seine	(*Paris*)	Asnières		1er —
Seine	*Idem*	Clichy		1er —
Ardennes	Sedan			15 —
Seine-et-Oise	(*Paris*)	St-Germain-en-Laye		18 —
Nord	(*Fourmies*)	Etrœungt		1er févr.
Seine	(*Paris*)	Fontenay-sous-Bois		11 —

Réseaux ouverts en 1891 (*suite*).

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversations taxées	DATE de la mise en service
Meurthe-et-Mos^lle.	(*Nancy*)	Dombasle		1er mars.
Gironde	(*Bordeaux*)	Pauillac		15 —
Seine-et-Oise	(*Paris*)	Juvisy		23 —
Seine-et-Oise	*Idem*	Bellevue		27 —
Alger	(*Alger*)	Maison-Carrée		18 avril.
Seine-et-Oise	(*Paris*)	Saint-Cloud		24 —
Seine-et-Oise	*Idem*	Rueil		27 —
Seine	*Idem*	Charenton		27 —
Seine	*Idem*	Créteil		27 —
Pas-de-Calais	Arras			10 mai.
Seine-et-Oise	(*Paris*)	Argenteuil		23 —
Nord	(*Fourmies*)	La Capelle		8 juin.
Seine	(*Paris*)	Montreuil		11 —
Seine-et-Oise	*Idem*	Corbeil		23 —
Loire	Roanne			1er juill.
Maine-et-Loire	Angers			1er —
Marne	Épernay			1er —
Saône-et-Loire	Mâcon			1er —
Seine-Inférieure	Fécamp			1er —
Seine-et-Oise	(*Paris*)	Le Vésinet		15 —
Marne	(*Châlons-s.-Marne*)	Ay		16 —
Seine	(*Paris*)	Sèvres		18 —
Seine-et-Oise			Pontoise	21 —
Marne	Châlons-s.-Marne			1er août.
Loiret	Orléans			1er —
Seine-et-Oise	(*Paris*)	Gonesse		10 —
Alpes-Maritimes	Grasse			16 —
Rhône	Thizy			26 —
Seine	(*Paris*)	Saint-Ouen		26 —
Seine-Inférieure			Etretat	28 —
Ardennes	(*Mézières - Charleville*)	Braux		1er sept.
Côte-d'Or	Beaune			1er —
Haute-Garonne	Toulouse			1er —
Marne			Hautvillers	11 —
Seine	(*Paris*)	Bondy		16 —
Seine	*Idem*	Boulogne-sur-Seine		27 —
Nord	Maubeuge			1er oct.
Nord	*Idem*	Hautmont		1er —
Tarn	Mazamet			1er —
Seine	(*Paris*)	Neuilly-s.-Seine		12 —
Rhône	(*Lyon*)	Villeurbanne		21 —
Seine-et-Marne	(*Paris*)	Fontainebleau		21 oct.
Meurthe-et-Mos^lle.	(*Nancy*)	Pont-Saint-Vincent		1er nov.
Saône-et-Loire	Chalon-s.-Saône			1er —
Indre-et-Loire	Tours			15 —
Loire	(*Saint-Etienne*)	St-Chamond		1er déc.
Meurthe-et-Mos^lle.	Toul			1er —
Charente	Cognac			1er —
Gironde			Arcachon	16 —
Calvados			Trouville	16 —

Réseaux en construction.

NOMS DES RÉSEAUX		NOMS DES RÉSEAUX	
principaux	annexes	principaux	annexes
Angoulême.		Libourne.	
Bar-sur-Seine.		Lunéville.	
(*Rouen*)	Barentin	(*Paris*).	Maisons-Laffitte.
Bayonne	Biarritz.	Mantes.	
Beauvais.		Melun.	
Béziers.		Meulan.	
Bône.		Méru.	
Cambrai.		Montpellier.	
Cette.		Narbonne.	
Charleval.		Nemours.	
Châteaubriant.		Nîmes.	
Clermont-Ferrand.		(*Charleville-Mézières*).	Nouzon.
Creil.		Persan-Beaumont.	
Crépy-en-Valois.		Philippeville.	
(*Valenciennes*).	Denain.	Rochefort.	
Étampes.		Saintes.	
Fismes.		(*Alger*).	Saint-Eugène.
(*Paris*).	Gentilly.	Saint-Nazaire.	
(*Douai*).	Hénin-Liétard.	Soissons.	
Hyères.		Tonnay-Charente.	
Issé.		Vichy.	
(*Roubaix*)	Lannoy.	Viroflay.	
La Rochelle.			

Au 31 décembre 1891, le nombre des réseaux urbains exploités par l'État est de 112, se subdivisant de la manière suivante :

Réseaux principaux.	57	
Réseaux annexes. . . , ...	50	112
Réseaux spéciaux à conversations taxées.	5	
En construction.		46
		158

Nombre d'abonnés. — Recettes.

Le nombre des abonnés aux divers réseaux téléphoniques a progressé dans une proportion importante. De 11.440 à la fin de l'année 1889 il a passé à 18.191 au 31 décembre 1891. L'augmentation est de 6.751, soit 59 p. 100 en deux ans.

De 6.255, Paris avec ses annexes est passé à 9.965. Augmentation : 3.710 abonnés.

Le tableau suivant donne par réseau le nombre d'abonnés au 31 décembre 1889, 1890 et 1891.

Réseaux urbains. — Comparaison du nomb

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX		
	principaux	annexes	spéciaux à conversations taxé
Aisne	Saint-Quentin		
Alger	Alger		
		Maison-Carrée	
Alpes-Maritimes	Nice		
	Cannes		
	Grasse		
	Menton		
Ardennes	Charleville-Mézières		
		Braux	
	Sedan		
Aube	Troyes		
Bouches-du-Rhône	Marseille		
Calvados	Caen		
			Trouville
Charente	Cognac		
Côte-d'Or	Dijon		
	Beaune		
Doubs	Besançon		
Pas-de-Calais	Arras		
	Boulogne		
	Calais		
Gironde	Bordeaux		
		Pauillac	
			Arcachon
Haute-Garonne	Toulouse		
Haute-Vienne	Limoges		
Indre-et-Loire	Tours		
Isère	Grenoble		
	Vienne		
Loire	Saint-Etienne		
	Roanne		
		Saint-Chamond	
Loire-Inférieure	Nantes		
Loiret	Orléans		
Maine-et-Loire	Angers		
Marne	Reims		
		Warmériville	
		Pontfaverger	
	Châlons-sur-Marne		
	Epernay		
		Ay	
			Hautvilliers
Meurthe-et-Moselle	Nancy		
		Dombasle	
		Pont-Saint-Vincent	
	Toul		
Rhône	Lyon		
		Villeurbanne	
	Thizy		
Nord	Armentières		
A reporter			

…s abonnés au 31 *décembre* 1889, 1890 *et* 1891.

DATE de la mise en service	TARIF de l'abonnement		NOMBRE D'ABONNÉS			COMPARAISON entre les abonnés au 31 décembre 1889 et 1891	
	au réseau principal	au réseau annexe	au 31 déc. 1889	au 31 déc. 1890	au 31 déc. 1891	Augmentation	Diminution
	francs	francs					
…r janvier 1884	200	»	119	127	163	44	»
…ncien réseau de la Société Gén.	200	»	83	112	136	53	»
… avril 1891	310	150	»	»	9	9	»
… décembre 1886	200	»	74	101	163	89	»
… mars 1886	200	»	143	153	166	23	»
… août 1891	150	»	»	»	48	48	»
…r janvier 1891	150	»	»	»	42	42	»
Id.	150	»	»	»	23	23	»
…er septembre 1891	270	150	»	»	6	6	»
…5 janvier 1891	150	»	»	»	74	74	»
…er avril 1884	200	»	149	147	163	14	»
…ncien réseau de la Société Gén.	200	»	483	548	695	212	»
…6 novembre 1886	200	»	26	33	31	5	»
…9 août 1891	50	»	»	»	1	1	»
…er décembre 1891	150	»	»	»	34	34	»
…er novembre 1890	200	»	»	105	162	162	»
…er septembre 1891	150	»	»	»	30	30	»
…er juin 1890	200	»	»	76	79	79	»
…5 mai 1891	200	»	»	»	25	25	»
…er janvier 1886	200	»	28	29	26	»	2
…ncien réseau de la Société Gén.	200	»	48	52	64	16	»
Id. *id.*	200	»	457	555	657	200	»
…5 mars 1891	700	150	»	»	13	13	»
…5 décembre 1891	50	»	»	»	6	6	»
…r septembre 1891	200	»	»	»	72	72	»
…0 mai 1889	200	»	58	57	61	3	»
…5 novembre 1891	200	»	»	»	32	32	»
…r avril 1890	200	»	»	111	132	132	»
…r décembre 1890	150	»	»	60	79	79	»
…cien réseau de la Société Gén.	200	»	110	125	159	49	»
…r juillet 1891	200	»	»	»	46	46	»
… décembre 1891	320	200	»	»	24	24	»
…cien réseau de la Société Gén.	200	»	124	152	181	57	»
… août 1891	200	»	»	»	24	24	»
… juillet 1891	200	»	»	»	61	61	»
… avril 1883	200	»	387	393	412	55	»
… août 1887	385	150	6	6	5	»	1
… août 1887	420	150	8	8	7	»	1
… août 1891	150	»	»	»	40	40	»
… juillet 1891	150	»	»	»	53	53	»
… juillet 1891	190	150	»	»	9	9	»
… décembre 1891	50	»	»	»	1	1	»
… décembre 1884	200	»	157	170	185	28	»
… mars 1891	360	150	»	»	5	5	»
… novembre 1891	330	150	»	»	3	3	»
… décembre 1891	150	»	»	»	12	12	»
…cien réseau de la Société Gén.	300	»	774	790	877	103	»
… octobre 1891	350	150	»	»	9	9	»
… avril 1891	150	»	»	»	20	20	»
… juin 1885	200	»	15	18	18	3	»
			3.249	3.928	5.373	2.128	4

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX		
	principaux	annexes	spéciaux à conversations tax
Report.			
Nord (*suite*)	Douai		
	Dunkerque		
		Bergues	
	Fourmies		
		Anor	
		Avesnes	
		La Capelle	
		Etrœungt	
		Glageon	
		Sains	
		Trélon-Ohain	
		Wignehies	
	Halluin		
	Lille		
		Don-Annœulin	
		Séclin	
		Saint-Amand	
	Maubeuge		
		Hautmont	
	Roubaix		
	Tourcoing		
	Valenciennes		
Oran	Oran		
Saône-et-Loire	Chalon-sur-Saône		
	Mâcon		
Seine-Inférieure	Dieppe		
	Elbeuf		
			Etretat
	Fécamp		
	Le Havre		
	Rouen		
Somme	Amiens		
Tarn	Mazamet		
Seine	Paris		
Seine		Asnières	
		Boulogne	
		Bondy	
		Charenton	
		Choisy-le-Roi	
		Clichy	
		Créteil	
		Fontenay-sous-Bois	
		Ivry	
		Montreuil	
		Neuilly-sur-Seine	
		Puteaux-Suresnes	
		Saint-Denis	
		Saint-Ouen	
Seine-et-Oise		Argenteuil	
		Bellevue	
		Corbeil	
A reporter			

DATE de la mise en service	TARIF de l'abonnement		NOMBRE D'ABONNÉS			COMPARAISON entre les abonnés au 31 décembre 1889 et 1891	
	au réseau principal	au réseau annexe	au 31 déc. 1889	au 31 déc. 1890	au 31 déc. 1891	Augmentation	Diminution
	francs	francs					
....	.....	.....	3.249	3.928	5.373	2.128	4
décembre 1890........	200	»	»	31	43	43	»
octobre 1884	200	»	120	129	144	24	»
mai 1886	295	150	5	5	5	»	»
février 1887........	150	»	78	78	80	2	»
février 1887........	205	150	5	5	5	»	»
mai 1887........	315	150	9	9	9	»	»
juin 1891	265	150	»	»	5	5	»
février 1891........	260	150	»	»	5	5	»
février 1887........	210	150	5	5	5	»	»
février 1887........	255	150	12	14	13	1	»
juillet 1887........	235	150	9	9	10	1	»
février 1887	180	150	11	11	11	»	»
février 1884........	150	»	11	12	12	1	»
octobre 1884 (date de la reprise par l'Etat)........	200	»	408	425	479	71	»
mars 1887........	400	150	6	5	4	»	2
juillet 1889	295	150	5	7	7	2	»
février 1890	560	150	»	4	4	4	»
octobre 1891	150	»	»	»	31	31	»
Id.	200	150	»	»	5	5	»
avril 1883........	200	»	619	627	388	54	»
Id.	200	»			285		
décembre 1890........	200	»	»	37	41	41	»
cien réseau de la Société Gén.	200	»	43	58	77	34	»
novembre 1891........	150	»	»	»	37	37	»
juillet 1891........	150	»	»	»	55	55	»
août 1890........	150	»	»	26	41	41	»
novembre 1884........	150	»	61	54	72	11	»
juillet 1891........	50	»	»	»	1	1	»
Id.	150	»	»	»	20	20	»
cien réseau de la Société Gén.	200	»	302	379	480	178	»
Id. *id.*	200	»	168	230	314	146	»
mai 1886........	200	»	59	79	128	69	»
octobre 1891	150	»	»	»	33	33	»
cien réseau de la Société Gén.	400	»	6.255	8,306	9.653	3.398	»
janvier 1891	470	200	»	»	11	11	»
eptembre 1891........	500	200	»	»	6	6	»
eptembre 1891........	520	150	»	»	6	6	»
vril 1891........	490	200	»	»	10	10	»
ptembre 1890	560	150	»	7	10	10	»
anvier 1891	460	200	»	»	8	8	»
vril 1891........	550	150	»	»	3	3	»
évrier 1891........	520	150	»	»	8	8	»
écembre 1890........	490	200	»	6	8	8	»
uin 1891	490	150	»	»	6	6	»
ctobre 1891	470	200	»	»	13	13	»
nai 1890	490	200	»	17	26	26	»
ctobre 1890	510	200	»	23	34	34	»
oût 1891	460	150	»	»	9	9	»
ai 1891	510	150	»	»	7	7	»
ars 1891........	540	150	»	»	11	11	»
uin 1891	750	150	»	»	11	11	»
....	.....	.....	11.440	14.528	18.062	6.628	6

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX		
	principaux	annexes	spéciaux à conversations tax
Report.			
Seine-et-Oise (*suite*).		Enghien.	
		Juvisy.	
		Gonesse.	
		Vésinet	
		Montmorency.	
			Pontoise.
		Rueil.	
		Saint-Cloud.	
		Saint-Germain.	
		Sèvres.	
Seine-et-Marne		Fontainebleau	
Totaux.			

Le tableau suivant indique pour chaque réseau le nombre d'abonn

Tableau indiquant la répartition, par catégorie, du nom

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX			ABONNEMENTS à tarif simple à				
	principaux	annexes	spéciaux à conversations taxées	400f	300f	200f	150f	160f
Aisne.	Saint-Quentin			»	1	142	4	»
Alger.	Alger			»	4	92	»	»
		Maison-Carrée		»	»	5	1	»
Alpes-Maritimes	Nice			»	2	75	»	»
	Cannes			»	6	60	1	»
	Grasse			»	»	»	43	»
	Menton			»	»	»	»	»
Ardennes	Charleville-Mézières			»	»	»	20	»
		Braux		»	»	»	6	»
	Sedan			»	»	»	69	»
Aube.	Troyes			»	»	147	4	»
Bouches-du-Rhône.	Marseille			»	»	606	»	»
Calvados.	Caen			»	»	23	1	»
			Trouville.	»	»	»	»	»
Charente.	Cognac			»	»	»	34	»
			A reporter.	»	13	1.150	183	»

DATE de la mise en service	TARIF de l'abonnement		NOMBRE D'ABONNÉS			COMPARAISON entre les abonnés au 31 décembre 1889 et 1891	
	au réseau principal	au réseau annexe	au 31 déc. 1889	au 31 déc. 1890	au 31 déc. 1891	Augmentation	Diminution
	francs	francs					
. . . .	. . . . .	. . . . .	11.440	14.528	18.062	6 628	6
3 août 1890	550	150	»	6	6	6	»
3 mars 1891.	590	150	»	»	7	7	»
0 août 1891	570	150	»	»	6	6	»
5 juillet 1891	570	150	»	»	9	9	»
août 1890.	590	150	»	15	19	19	»
1 juillet 1891	50	»	»	»	14	14	»
7 avril 1891	530	150	»	»	17	17	»
4 avril 1891	510	150	»	»	12	12	»
8 janvier 1891	620	150	»	»	23	23	»
8 juillet 1891	510	150	»	»	6	6	»
1 octobre 1891	1.050	150	»	»	10	10	»
. . . .	. . . . .	. . . . .	11.440	14.547	18.191	6.757	6

éparti suivant les diverses catégories du tableau d'abonnement.

es abonnements souscrits. — Situation au 31 *décembre* 1891.

ONNEMENTS tarif simple augmenté de la moitié de l'abonnement			ABONNEMENTS des services publics de l'État				des départements ou des communes				POSTES supplémentaires		ABONNEMENTS spéciaux aux réseaux à conversations taxées	ABONNEMENTS spéciaux pour l'usage d'une ligne affectée exclusivement au service des conversations interurbaines				ABONNEMENTS de saison							
450f	300f	225f	200f	150f	100f	75f	300f	225f	150f	112f,50	50f	40f	50f	200f	150f	100f	75f	300f	200f	150f	112f,50	100f	75f	60f	20f
»	»	»	»	»	2	»	»	»	4	»	»	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	1	»	»	»	11	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	«	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	76	»	1	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	13	»	86	»	»	1
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	«	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	12	»	30	»	2
»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	2	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	2	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	1	1	»
»	3	»	»	»	3	»	»	»	2	»	»	13	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	11	»	»	»	11	»	»	»	30	»	»	65	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
	14	3	»	»	18	1	»	»	52	6	»	94	1	»	»	»	»	»	»	16	12	162	31	2	3

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversations taxées	ABONNEMENTS à tarif simple 400f	300f	200f	100f
			Report.	»	13	1.150	133
Côte-d'Or	Dijon			»	»	138	»
	Beaune			»	»	»	25
Doubs	Besançon			»	»	60	»
Pas-de-Calais	Arras			»	»	23	»
	Boulogne			»	»	11	»
	Calais			»	»	57	»
Gironde	Bordeaux			»	»	68	»
		Pauillac		»	»	5	»
			Arcachon	»	»	»	»
Haute-Garonne	Toulouse			»	»	62	»
Haute-Vienne	Limoges			»	»	54	»
Isère	Grenoble			»	»	111	»
	Vienne			»	»	»	67
Indre-et-Loire	Tours			»	»	25	»
Loire	Saint--Étienne			»	»	151	»
	Roanne			»	»	43	»
		Saint-Chamond		»	»	24	»
Loire-Inférieure	Nantes			»	»	139	»
Loiret	Orléans			»	»	20	»
Maine-et-Loire	Angers			»	»	57	»
Marne	Châlons-sur-Marne			»	»	»	25
	Reims			»	»	60	364
		Pontfaverger		»	»	»	»
		Warmériville		»	»	»	5
	Épernay			»	»	»	49
		Ay		»	»	»	9
			Hautvillers	»	»	»	»
Meurthe-et-Moselle	Nancy			»	»	165	8
	Toul			»	»	»	10
		Pont-Saint-Vincent		»	»	3	»
		Dombasle		»	»	5	»
Rhône	Lyon			»	803	»	»
		Villeurbanne		»	8	»	»
	Thizy			»	»	»	22
Nord	Armentières			»	»	18	»
	Douai			»	»	40	»
	Dunkerque			»	1	129	11
		Bergues		»	»	5	»
	Fourmies			»	»	»	79
		Anor		»	»	»	5
		Avesnes		»	»	»	9
		La Capelle		»	»	»	5
		Etrœungt		»	»	»	5
		Glageon		»	»	»	4
		Sains		»	»	»	13
		Trélon		»	»	»	9
		Wignehies		»	»	»	10
	Halluin			»	»	»	12
	Lille			»	»	78	369
			A reporter.	»	825	3.291	1.318

Abonnements à tarif simple augmenté de la moitié de l'abonnement				Abonnements des services publics — de l'État				Abonnements des services publics — des départements ou des communes				Postes supplémentaires		Abonnements spéciaux aux réseaux à conversations taxées	Abonnements spéciaux pour l'usage d'une ligne affectée exclusivement au service des conversations interurbaines				Abonnements de saison							
[illegible]	450f	300f	225f	200f	150f	100f	75f	300f	225f	150f	112f,50	50f	40f	50f	200f	150f	100f	75f	300f	200f	150f	112f,50	100f	75f	60f	20f
»	»	14	3	»	»	18	1	»	»	52	6	»	94	1	»	»	1	»	»	»	16	12	162	31	2	3
»	»	12	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
»	»	4	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	17	»	»	»	5	»	»	»	4	»	»	35	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	3	»	»	»	5	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	7	»	»	»	1	»	»	»	7	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	2	»	»	»	1	»	»	»	2	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	3	»	»	»	2	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	3	»	»	»	11	»	»	»	4	»	»	5	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	1	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	5	»	9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	6	»	»	»	»	»	»	1	»	»	9	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	5	»	»	»	4	»	»	»	2	»	»	10	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	2	»	»	»	10	»	»	»	52	»	»	»	34	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	3	9	»	»	»	»	»	»	4	»	»	21	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	2	73	26	»	11	51	2	»	53	91	21	»	243	8	»	1	1	»	»	»	18	12	163	31	2	3

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversations taxées	ABONNEMENTS à forfait				
				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
			Report.	»	[illegible]	[illegible]	[illegible]	»
Nord *suite*		Don-Annœullin		»	»		[illegible]	»
		Seclin		»	»	1	[illegible]	»
		St-Amand-les-Eaux		»	»		[illegible]	»
	Maubeuge			»	»	»	[illegible]	
		Hautmont		»	»		[illegible]	
	Roubaix			»	»	[illegible]	3[illegible]	
	Tourcoing			»	»	4[illegible]	21	
	Valenciennes				»	[illegible]	»	
Oran	Oran			»	»	54	[illegible]	
Saône-et-Loire	Chalon-sur-Saône			»	»	»	31	
	Mâcon			»	»	»	[illegible]	
Seine-Inférieure	Dieppe			»	»	»	[illegible]	
	Elbeuf			»	»	»	[illegible]	
			Etretat	»	»	»	»	
	Fécamp			»	»	»	14	
	Havre (Le)			»	»	12[illegible]		
	Rouen			»	»	2[illegible]		
Somme	Amiens			»	»	10[illegible]	1	
Tarn	Mazamet			»	»	»	[illegible]	
Seine	Paris			8.6[illegible]9	»	»	[illegible]	
Seine		Asnières		10	»	1	»	
		Boulogne		3	»	»	»	
		Bondy		5	»	»	»	
		Charenton		8	»	»	»	
		Choisy-le-Roi		7	»	»	»	
		Clichy		7	»	»	»	
		Créteil		2	»	»	»	
		Fontenay-sous-Bois		4	»	»	»	
		Ivry		6	»	1	»	
		Montreuil-s.-Bois		5	»	»	»	
		Neuilly-sur-Seine		11	»	»	»	
		Puteaux-Suresnes		22	»	1	»	
		Saint-Denis		34	»	»	»	
		Saint-Ouen		9	»	»	»	
Seine-et-Oise		Argenteuil		5	»	»	2	
		Bellevue		3	»	»	4	
		Corbeil		7	»	»	4	
		Enghien-les-Bains		6	»	»	»	
		Juvisy		7	»	»	»	
		Gonesse		»	»	»	5	
		Le Vésinet		2	»	»	2	
		Montmorency		2	»	»	9	
		Rueil		4	»	»	5	
			Pontoise	»	»	»	»	
		Saint-Cloud		2	»	»	3	
		St-Germain-en-Laye		2	»	»	12	
		Sèvres		3	»	»	2	
Seine-et-Marne		Fontainebleau		2	»	»	4	
			Totaux.	8 787	825	4.288	2.178	67[illegible]

Abonnements à tarif simple augmenté de la moitié de l'abonnement			Abonnements des services publics — de l'État				Abonnements des services publics — des départements ou des communes				Postes supplémentaires		Abonnements spéciaux aux réseaux à conversations taxées	Abonnements spéciaux pour l'usage d'une ligne affectée exclusivement au service des conversations interurbaines				Abonnements de saison							
450f	300f	225f	200f	150f	100f	75f	300f	225f	150f	112f,50	50f	40f	50f	200f	150f	100f	75f	300f	200f	150f	112f,50	100f	75f	60f	20f
2	73	26	»	11	51	2	»	53	91	21	»	243	8	»	1	1	»	»	»	18	12	163	31	2	3
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	2	2	»	»	»	»	»	»	5	»	»	7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	5	»	»	6	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	1	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	1	»	»	»	»	»	»	»	12	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	7	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	7	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	1	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1	»	»
»	12	»	»	»	4	»	»	»	14	»	»	59	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	2	»	»	»	2	»	»	»	7	»	»	37	»	»	»	1	»	»	»	»	»	1	»	»	»
»	6	»	»	»	»	»	»	»	6	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	140	»	»	»	125	»	»	»	1.339	»	»	8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	1	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	4	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	1	2	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	14	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	4	»	»
»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	5	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
»	»	2	»	»	»	»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2	103	52	140	11	58	2	133	53	141	28	1 356	364	23	8	1	2	»	4	21	19	15	168	48	4	3

Ces divers abonnements produiraient pour une année entiè

Tableau indiquant le produit des réseaux téléphoniq

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversations taxées
Aisne	Saint-Quentin		
Alger	Alger		
		Maison-Carrée	
Alpes-Maritimes	Nice		
	Cannes		
	Grasse		
	Menton		
Ardennes	Charleville-Mézières		
		Braux	
	Sedan		
Aube	Troyes		
Bouches-du-Rhône	Marseille		
Calvados	Caen		
			Trouville
Charente	Cognac		
Côte-d'Or	Dijon		
	Beaune		
Doubs	Besançon		
Pas-de-Calais	Arras		
	Boulogne-sur-Mer		
	Calais		
Gironde	Bordeaux		
		Pauillac	
			Arcachon
Haute-Garonne	Toulouse		
Haute-Vienne	Limoges		
Isère	Grenoble		
	Vienne		
Indre-et-Loire	Tours		
Loire	Saint-Etienne		
	Roanne		
		Saint-Chamond	
Loire-Inférieure	Nantes		
Loiret	Orléans		
Maine-et-Loire	Angers		
Marne	Châlons-sur-Marne		
	Reims		
		Warmériville	
		Pontfaverger	
	Epernay		
		Ay	
			Hautvillers
Meurthe-et-Moselle	Nancy		
	Toul		
		Pont-Saint-Vincent	
		Dombasle	
A reporter			

omme de 5.574.891fr,82 répartie par réseau ainsi qu'il suit :

rès le nombre d'abonnements au 31 décembre **1891.**

RODUIT des nnements incipaux, pplémen-taires spéciaux	PRODUIT des postes supplémen-taires	PRODUIT du supplément d'abonne-ment dans les réseaux annexes	PRODUIT du supplément d'abonne-ment pour lignes greffées ou pour lignes sortant du périmètre du réseau	PRODUIT de la location des lignes auxiliaires	REDEVANCE acquise à l'État pour appareils accessoires	TOTAL
fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1.300,00	320,00	»	678,50	»	366,00	32.664,50
4.650,00	80,00	»	1.081,50	»	305,00	26.116,50
[illegible]0,00	»	770,00	»	»	12,00	2.302,00
[illegible]0,00	»	»	397,50	»	36,00	24.923,50
.520,00	40,00	»	37,50	»	5,00	24.602,50
7.237,50	»	»	»	»	»	7.237,50
3.600,00	40,00	»	28,50	»	5,50	3.674,00
3.300,00	40,00	»	34,50	»	46,00	3.420,50
[illegible]0,00	»	720,00	15,00	»	»	1.635,00
0.987,50	80,00	»	111,00	»	108,50	11.287,00
1.960,00	520,00	»	91,50	»	174,00	32.745,50
4.540,00	2.600,00	»	2.629,50	»	1.185,00	140.954,50
5.650,00	80,00	»	220,50	»	39,00	5.989,50
50,00	»	»	»	»	»	50,00
[illegible]100,00	»	»	»	»	»	5.100,00
[illegible].700,00	160,00	»	286,50	»	229,00	33.375,50
4.545,00	40,00	»	249,00	»	68,00	4.902,00
5.470,00	»	»	447,00	»	151,00	16.068,00
4.840,00	80,00	»	177,00	»	91,00	5.188,00
5.190,00	120,00	»	40,50	»	45,00	5.395,50
2.450,00	120,00	»	10[illegible],50	»	109,00	12.779,50
1.600,00	1.400,00	»	973,50	»	460,00	134.433,50
[illegible]00,00	»	2.500,00	102,00	»	25,00	4.827,00
[illegible]00,00	»	»	»	»	»	800,00
[illegible]00,00	»	»	»	»	»	14.100,00
2.090,00	80,00	»	220,50	»	25,00	12.415,50
6.170,00	40,00	»	382,50	»	381,00	26.973,50
1.640,00	80,00	»	180,00	»	210,00	12.110,00
6.200,00	40,00	»	»	»	»	6.240.00
1.520,00	120,00	»	502,50	»	106,00	32.248,50
9.140,00	»	»	36,00	»	30,00	9.206,00
[illegible]800,00	»	720,00	»	»	»	5.520,00
4 880,00	200,00	»	714,00	»	50,00	35.844,00
4.570,00	80,00	»	»	»	»	4.650,00
2 100,00	»	»	67,50	»	13,00	12.180,50
5 947,50	360,00	»	21,00	»	49,00	6.377,50
9.420,00	360,00	300,00	1.184,50	»	113,00	71.377,50
750,00	»	840,00	»	»	»	1.590,00
1.050,00	40,00	940,00	»	»	5,00	2.035,00
8.032,50	»	»	7,50	»	7,00	8.047,00
1.350,00	»	»	»	»	»	1.710,00
50,00	»	360,00	»	»	»	50,00
6.520,00	400,00	»	538,50	»	308,00	37.766,50
1.837,50	»	»	»	»	20,00	1.857,50
600,00	»	390,00	213,00	»	»	1.203,00
1.000,00	»	800,00	»	»	»	1.800,00
9.867,50	7.520,00	8.340,00	11.769,00	»	5.777,00	845.273,50

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX principaux	RÉSEAUX annexes	RÉSEAUX spéciaux à conversation taxées
Report			
Rhône	Lyon		
		Villeurbanne	
	Thizy		
Nord	Armentières		
	Douai		
	Dunkerque		
		Bergues	
	Fourmies		
		Anor	
		Avesnes	
		La Capelle	
		Etrœungt	
		Glageon	
		Sains	
		Trélon	
		Wignehies	
	Halluin		
	Lille		
		Don-Annœulin	
		Séclin	
		Saint-Amand-les-Eaux	
	Maubeuge		
		Hautmont	
	Roubaix		
	Tourcoing		
	Valenciennes		
Oran	Oran		
Saône-et-Loire	Chalon-sur-Saône		
	Mâcon		
Seine-Inférieure	Dieppe		
	Elbeuf		
			Etretat
	Fécamp		
	Le Havre		
	Rouen		
Somme	Amiens		
Tarn	Mazamet		
Seine	Paris		
		Asnières	
		Boulogne	
		Bondy	
		Charenton-le-Pont	
		Choisy-le-Roi	
		Clichy	
		Créteil	
		Fontenay-sous-Bois	
		Ivry-sur-Seine	
		Montreuil-sous-Bois	
		Neuilly-sur-Seine	
A reporter			

...IT ...ents ...ux, ...en- ...s ...iaux	PRODUIT des postes supplémentaires	PRODUIT du supplément d'abonnement dans les réseaux annexes	PRODUIT du supplément d'abonnement pour lignes greffées ou pour lignes sortant du périmètre du réseau	PRODUIT de la location des lignes auxiliaires	REDEVANCE acquise à l'État pour appareils accessoires	TOTAL
c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
7,50	7.520,00	8.340,00	11.769,00	»	5.777,00	845.273,50
0,00	1.360,00	»	2.153,00	»	553,00	260.176,00
5,00	»	450,00	»	»	»	3.075,00
0,00	»	»	13,50	»	10,00	3.023,50
0,00	»	»	4,50	»	»	3 604,50
0,00	40,00	»	157,50	»	35,00	8.572,50
0,00	»	»	591,00	»	30,90	28.821,90
0,00	»	475,00	102,00	»	»	1.577,00
62.50	»	»	55,50	»	80,35	12.098,35
50,00	»	275,00	»	»	6,24	1.031,24
50,00	»	1.485,00	97,50	»	6,31	2.938,81
50,00	»	575,00	»	»	»	1.325,00
50,00	»	550,00	»	»	10,00	1.310,00
12.50	»	300,00	»	»	20,02	1.032,52
50,00	»	1.365,00	»	»	15,00	3.330,00
62,50	»	850,00	»	»	7,91	2.320,41
12,50	»	330,00	»	»	11,03	1.953,53
00,00	»	»	102,00	»	5,00	1.907,00
55,00	840,00	»	2.602,50	»	398,17	79.995,67
00,00	»	700,00	133,50	»	»	1.433,50
00,00	»	665,00	»	»	5,49	1.770,49
50,00	»	1.800,00	»	»	»	2.550,00
575,00	120,00	»	192,00	»	25,00	4.912,00
750,00	»	250,00	»	»	»	1.000,00
720,00	280,00	»	1.450,50	»	269,85	62.720,35
010,00	240,00	»	892,50	»	134,30	46.276,80
910,00	»	»	82,50	»	74,00	8.066,50
100,00	80,00	»	165,00	»	73,00	14.418,00
670,00	80,00	»	7,50	»	20,00	5.777,50
707,50	»	»	187,50	»	50,00	8.945,00
420,00	»	»	34,50	»	36,00	6.490,50
912,00	40,00	»	184,00	»	253,00	11.389,50
50,00	»	»	21,00	»	»	71,00
865,00	»	»	24,00	»	48,00	2.937,00
940,00	2.360,00	»	594,00	»	745,00	97 639,00
190,00	1.480,00	»	1.798,50	»	1.041,00	64.509,50
270,00	80,00	»	501,00	»	233,00	26.084,00
025,00	»	»	»	»	»	5.025,00
700,00	66.950,00	»	33.016,50	11.325,00	28 966,00	3.820.957,50
200,00	»	700,00	»	»	»	4.900,00
060,00	»	400,00	163,00	»	35,00	2 658,00
150,00	»	600,00	»	»	5,00	2.755,00
800,00	»	810,00	»	»	12,00	4.622,00
446.00	50,00	1.360,00	»	»	25,00	4.881,00
085,00	»	480,00	»	»	»	3.565,00
000,00	»	375,00	51,00	»	22,00	1.448,00
240,00	»	960,00	34,00	»	136,00	3.370,00
900,00	50,00	630,00	»	»	5,00	3.585,00
300,00	»	540,00	»	»	27,00	2.867,00
000,00	50,00	875,00	»	»	10,00	5.935,00
541,50	81.620,00	26.140,00	57.180,50	11.325,00	38.216,57	4.696.925,57

DÉPARTEMENTS	RÉSEAUX		
	principaux	annexes	spéciaux à conversation taxés
Report. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
Seine (*suite*).	. . . .	Puteaux-Suresnes. . . .	. . . .
		Saint-Denis.	. . . .
		Saint-Ouen.	. . . .
Seine-et-Oise.	. . . .	Argenteuil	. . . .
		Bellevue.	. . . .
		Corbeil	. . . .
		Enghien-les-Bains. . . .	. . . .
		Juvisy.	. . . .
		Gonesse.	. . . .
		Le Vésinet	. . . .
		Montmorency.	. . . .
		. . . .	Pontoise. . . .
		Rueil	. . . .
		Saint-Cloud	. . . .
		Saint-Germain-en-Laye.	. . . .
		Sèvres	. . . .
Seine-et-Marne	. . . .	Fontainebleau.	. . . .
Totaux.	. . . .	. . . .	. . . .

Cabines téléphoniques.

Conversations urbaines. — Aux termes de l'article 18 de la police d'abonnement, les abonnés des divers réseaux urbains peuvent converser gratuitement à partir des cabines téléphoniques publiques.

Il leur est délivré une carte d'identité.

Le public est admis à correspondre à partir des cabines publiques dans l'intérieur d'un réseau, moyennant le payement d'une taxe de 0f,50 à Paris et de 0f,25 en province par cinq minutes de conversation.

Des abonnements annuels pour conversation par cabine sont donnés au prix de 80 francs à Paris, 60 fr. à Lyon et 40 fr. dans les réseaux aériens. — Les tableaux ci-après indiquent le produit des taxes des conversations urbaines pour les années 1889, 1890 et 1891,

PRODUIT des abonnements principaux, supplémentaires ou spéciaux	PRODUIT des postes supplémentaires	PRODUIT du supplément d'abonnement dans les réseaux annexes	PRODUIT du supplément d'abonnement pour lignes greffées ou pour lignes sortant du périmètre du réseau	PRODUIT de la location des lignes auxiliaires	REDEVANCE acquise à l'État pour appareils accessoires	TOTAL
fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
5.282.541,50	81.620,00	26.140,00	57.180,50	11.325,00	33.216,57	4.696.925,57
9.260,00	»	2.250,00	»	»	159,00	11.669,00
13.600,00	100,00	2.090,00	»	»	88,00	15.878,00
3.400,00	»	510,00	39,00	»	37,00	3.986,00
2.100,00	»	495,00	»	»	20,00	2.615,00
2.275,00	50,00	630,00	»	»	28,00	2.983,00
3.400,00	100,00	2.450,00	»	»	16,00	5.966,00
2.400,00	50,00	900,00	»	»	15,00	3.365,00
2.800,00	50,00	1.330,00	»	»	14,00	4.194,00
870,00	80,00	»	15,00	»	41,00	1.006,00
2.200,00	»	850,00	»	»	5,00	3.055,00
3.100,00	»	760,00	»	»	118,00	3.978,00
700,00	»	»	»	»	21,00	721,00
3.605,00	50,00	845,00	9,00	»	190,00	4.699,00
2.150,00	»	385,00	»	»	14,00	2.549,00
3.928,75	100,00	770,00	53,00	»	10,00	4.861,75
1.700,00	»	385,00	»	»	5,00	2.090,00
2.170,00	200,00	1.640,50	318,00	»	22,00	4.350,50
5.342.102,25	82.400,00	42.430,50	57.614,50	11.325,00	39.019,57	5.574.891,82

ainsi que le nombre et le produit des cartes délivrées.

Produit des taxes des conversations urbaines.

1889	1890	1891
fr. c.	fr. c.	fr. c.
68.007,50	100.653,50	210.722,50

Nombre et produit des cartes délivrées.

ANNÉES	CARTES PAYANTES à 80 francs		CARTES PAYANTES à 40 francs		CARTES D'ADMISSION gratuites — Nombre	
	Nombre	Produit	Nombre	Produit	Paris	Départements
		fr.		fr.		
1889	»	»	»	»	»	»
1890	47	2 940	13	330	3.585	955
1891	56	3.820	6	190	3.212	1.391

Transmission des télégrammes par téléphone aux abonnés des réseaux.

Dans tous les réseaux, les abonnés ont le droit de transmettre ou de recevoir par le fil d'abonnement les télégrammes qui leur sont adressés ou qu'ils expédient.

Le service est fait gratuitement dans tous les réseaux aériens, à Paris et à Lyon, moyennant un abonnement de 50 francs par an.

Le tableau ci-après indique le nombre des abonnements à Paris et à Lyon et le produit de ces abonnements.

ANNÉES	ABONNEMENTS A LA TRANSMISSION des télégrammes par téléphone			
	Paris		Lyon	
	Nombre d'abonnements	Produit	Nombre d'abonnements	Produit
		fr.		fr.
1889	179	8.950	»	»
1890	238	11.900	»	»
1891	241	12.050	10	500

Messages téléphonés.

Le décret en date du 1er mai 1891 a organisé dans les réseaux urbains un service de messages téléphonés. Dans l'intérieur des réseaux le public peut, moyennant une taxe de 50 centimes par 5 minutes, expédier par le téléphone un télégramme qui est reçu au bureau de télégraphe et distribué par ses soins à domicile.

Les abonnés peuvent, de leur domicile, expédier des messages dans les mêmes conditions.

Ce service organisé au mois de novembre 1890 dans un certain nombre de bureaux de Paris, a été étendu successivement à tous les bureaux de télégraphe de Paris et des réseaux annexes de la banlieue. Le nombre des messages a pris immédiatement une grande importance.

	NOMBRE de messages de départ	
	A partir des cabines	A partir du domicile des abonnés
ANNÉE 1890		
Décembre (création du service)	52	»
ANNÉE 1891		
Janvier	39	»
Février	55	»
Mars	143	»
Avril	232	»
Mai	452	»
Juin	661	»
Juillet	613	»
Août	2.766	»
Septembre	4.501	»
Octobre	8.990	»
Novembre	10 639	732
Décembre	12.667	922

En province, ce service n'a pris aucun développement. Il n'a d'ailleurs sa raison d'être que dans les grandes villes dotées d'un certain nombre de bureaux télégraphiques.

Situation des lignes interurbaines.

Au 1er janvier 1890, il existait onze lignes interurbaines reliant entre eux les réseaux urbains.

Ces lignes construites aux frais de l'État étaient les suivantes :

Circuits ouverts au 1er janvier 1890.

DÉSIGNATION DES LIGNES	DATE DE MISE EN SERVICE
Rouen-Le Havre.	1er janvier 1885.
Lille-Douai.	18 mai 1885.
Lille-Cassel-Dunkerque (1er circuit). .	19 juillet 1885.
Paris-Reims.	1er décembre 1885.
Elbeuf-Louviers.	1er février 1886.
Rouen-Elbeuf.	1er février 1886.
Paris-Le Havre (1er circuit)	8 mai 1887.
Paris-Rouen (1er circuit).	25 juin 1887.
Paris-Lille.	1er décembre 1887.
Paris-Lyon-Marseille.	6 août 1888.
Paris-Versailles.	18 novembre 1889.

Les deux circuits Paris-Reims et Paris-Rouen constitués en fil de fer, précédemment installés pour le service télégraphique ont dû être reconstitués en fil de bronze, pour permettre aux abonnés des deux réseaux de correspondre à partir de leur domicile.

Antérieurement à cette transformation, l'échange des communications n'avait lieu que dans des conditions suivantes :

1° Du domicile des abonnés de Reims ou de Rouen au bureau central de Paris;

2° Du domicile des abonnés de Paris aux bureaux centraux de Reims ou de Rouen.

Création de nouveaux circuits interurbains. — Une loi en date du 20 mai 1890 a appliqué, pour la construction des circuits téléphoniques interurbains, des dispositions analogues à celles que la loi du 16 juillet 1889 avait appliquées à la création des réseaux urbains. Elle laisse aux villes, chambres de commerce ou syndicats d'intéressés le soin de faire à l'État l'avance des frais de premier établissement des lignes, avances remboursables sur le produit des taxes téléphoniques de chacune d'elles.

C'est sous ce régime que les nouveaux circuits ont été établis.

La chambre de commerce de Paris a bien voulu mettre à la disposition de l'administration une somme de 300.000 francs à l'aide de laquelle elle a contribué pour le cinquième de la dépense aux avances pour frais de premier établissement d'un certain nombre de lignes aboutissant à Paris. Ce précieux concours a facilité, dans une grande mesure, le développement du réseau téléphonique interurbain.

Circuits ouverts en 1890. — Dans le courant de 1890, 17 circuits téléphoniques ont été mis en service.

Circuits ouverts en 1890.

DÉSIGNATION des lignes	DATE de la mise en service	DÉSIGNATION des lignes	DATE de la mise en service
Paris-Puteaux-Suresnes. . .	1er mai.	Paris-Asnières.	20 oct.
Paris-Montmorency	9 août.	Lille-Valenciennes.	1er nov.
Paris-Enghien.	23 août.	Lille-Arras	15 nov.
Caen-Ouistreham	25 août.	Bordeaux-Pauillac.	20 nov.
Paris-Choisy-le-Roi.	4 sept.	Dieppe-Rouen.	16 déc.
Paris-Saint-Germain-en-Laye.	22 sept.	Paris-Fontenay-sous-Bois. .	16 dec.
Paris-Bellevue	25 sept.	Paris-Issy.	18 déc.
Paris-Saint-Denis	15 oct.	Paris-Ivry.	20 déc.
		Paris-Havre (2e circuit). . .	26 déc.

Circuits ouverts en 1891. — Dans le courant de l'année 1891 on a pu mettre en service de nombreuses lignes interurbaines. Un grand nombre de conventions avec les villes, chambres de commerce ou syndicats d'intéressés avaient été signées l'année précédente, et, pour un certain nombre de lignes, les travaux d'établissement avaient été entrepris en 1890.

Circuits ouverts en 1891.

DÉSIGNATION des lignes	DATE de la mise en service	DÉSIGNATION des lignes	DATE de la mise en service
Paris-Clichy	1er janv.	Lille-Calais	2 juill.
Lyon-Saint-Etienne	5 janv.	Paris-Gonesse	1er août.
Fourmies-Etrœungt	1er févr.	Grasse-Cannes	1er août.
Paris-Juvisy	14 févr.	Rouen-Honfleur-Trouville	1er août.
Paris-Nogent-sur-Marne	1er mars.	Saint-Maur-les-Fossés (le	
Paris-Le Raincy	1er mars.	Parc-)-Créteil	20 août.
Nancy-Dombasle	1er mars.	Saint-Maur-Port-Créteil-	
Paris-Argenteuil	15 mars.	Créteil	20 août.
Paris-Saint-Ouen	22 mars.	La Varenne-Saint-Hilaire-	
Meudon-Bellevue	27 mars	Créteil	20 août.
Sedan - Mézières - Charle-		Bordeaux-Arcachon	1er sept.
ville	1er avril.	Braux-Mézières-Charleville	1er sept.
Puteaux-Courbevoie	2 avril.	Lyon-Vienne	7 sept.
Paris-Rueil	5 avril.	Epernay-Hautvillers	11 sept.
Alger-Maison-Carrée	18 avril	Saint-Martin-La Chapelle-	
Paris-Saint-Cloud	24 avril.	Saint-Agnan-en-Vercors	11 sept.
Paris-Charenton	27 avril	Paris-Bondy	14 sept.
Paris-Créteil	27 avril.	Paris-Boulogne-sur-Seine	26 sept.
Paris-Sèvres	29 avril.	Garches-Saint-Cloud	1er oct.
Paris-Saint-Quentin	1er mai.	Maubeuge-Hautmont	1er oct.
Paris-Aubervilliers	1er mai.	Paris-Neuilly-sur-Seine	12 oct.
Paris-Troyes	16 mai.	Lyon-Villeurbanne	21 oct.
Thiais-Choisy-le-Roi	1er juin.	Bordeaux-Le Bouscat	26 oct.
Colombes-Asnières	3 juin.	Marseille-Aix	28 oct.
Bois-Colombes-Asnières	4 juin.	Nancy-Pont-Saint-Vincent	1er nov.
Paris-Montreuil-sous-Bois	10 juin.	Paris-Villejuif	11 nov.
Paris-Corbeil	13 juin	Fourmies - Roubaix - Tour-	
Paris-Pontoise	13 juin.	coing	15 nov.
Paris-Amiens	15 juin.	Rouen-Lillebonne-Bolbec	15 nov.
Fourmies-La-Capelle	18 juin.	Le Havre-Bléville	25 nov.
Le Havre-Etretat-Fécamp	1er juill.	Saint-Etienne-Saint-Cha-	
Epernay-Reims	1er juill.	mond	1er déc.
Paris-Le Vesinet	2 juill.	Molinet-Digoin	1er déc.
Lille-Dunkerque (2e circuit)	13 juill.	Troyes-Romilly-sur-Seine	6 déc.
Epernay-Ay	16 juill.	Deuil-Montmorency	14 déc.
Paris-Fontainebleau	24 juill.	Alger-Hussein-Dey	20 déc.

Développement des circuits téléphoniques intérieurs. — Au 1er janvier 1890, les circuits téléphoniques en service dans l'intérieur du territoire représentaient une longueur kilométrique de 1.940 kilomètres et un développement de 3.880 kilomètres de fil.

Au 1er janvier 1892, ils représentaient une longueur de 4.587 kilomètres et un développement de fil de 9.174 kilomètres.

Circuits en construction au 31 *décembre* 1891. — De nombreux circuits interurbains dont la construction a été entreprise en 1891, ou qui ont fait l'objet de conventions, n'ont pu être livrés au service avant la fin de l'année 1891.

Ces circuits sont désignés au tableau ci-après :

Circuits en construction au 31 *décembre* 1891.

DÉSIGNATION des circuits	DÉSIGNATION des circuits	DÉSIGNATION des circuits
Paris-Beauvais.	Paris-Pantin.	Cette-Nîmes.
Paris-Bordeaux.	Paris-Persan-Beaumont	Maubeuge-Avesnes.
Paris-Creil.	Paris-Plaine-Saint-Denis (La).	Nancy-Lunéville.
Paris-Dijon.	Paris-Pré-Saint-Gervais.	Nancy-Toul.
Paris-Epernay-Châlons-sur-Marne.	Paris-Soissons.	Nantes-Saint-Nazaire.
Paris-Etampes.	Paris-Tours.	Reims-Mézières.
Paris-Garches.	Paris-Valenciennes.	Rouen-Pont-Audemer,
Paris-Gennevilliers.	Paris-Versailles.	Soissons-Reims.
Paris-Limoges.	Paris-Vichy.	Tonnay-Charente-Cognac.
Paris-Maisons-Laffite.	Paris-Villejuif.	Tonnay-Charente-La Rochelle.
Paris-Mantes.	Angoulême-Bordeaux.	Tonnay-Charente-Rochefort.
Paris-Meulan.	Angoulême-Cognac.	Tonnay-Charente-Saintes.
Paris-Melun.	Bordeaux-Libourne.	Troyes-Bar-sur Seine.
Paris-Nancy-Epinal.	Cette-Béziers.	Valenciennes-Maubeuge.
Paris-Nantes.	Cette-Montpellier.	Viroflay-Versailles.
Paris-Orléans.	Cette-Narbonne.	

2e PARTIE.

RÉSEAUX INTERURBAINS.

Circuits téléphoniques intérieurs.

Tarifs.

Tarif de jour. — Le décret du 31 décembre 1884 fixe, pour la première fois, le tarif des conversations téléphoniques par ligne interurbaine; la taxe est de 1 franc par unité de 5 minutes et s'applique à la ligne Rouen-Le Havre qui vient d'être mise en service.

Cette même taxe de 1 franc par unité de 5 minutes est appliquée par décret aux taxes des conversations par circuit téléphonique successivement mis en service :

Décret du 27 octobre 1885, circuit Paris-Reims, 172 kilomètres;

Décret du 5 janvier 1887, circuit Paris-Lille, 250 kilomètres;

Décret du 4 mai 1887, circuits Paris-Rouen, 136 kilomètres, et Paris-Le Havre, 228 kilomètres.

Mais lorsqu'il s'agit de mettre en service la ligne de Paris-Marseille (888 kilomètres), le décret en date du 28 juillet 1888 fixe, par unité de 5 minutes la taxe de conversation de la manière suivante :

Paris-Lyon, 2 francs;
Paris-Marseille, 3 francs;
Lyon-Marseille, 1f,50.

Au 1er septembre 1889, sauf pour les trois circuits

indiqués ci-dessus, la taxe était uniformément de 1 franc par 5 minutes pour des circuits dont la longueur variait de 20 à 250 kilomètres.

Il était nécessaire, au moment où les réseaux téléphoniques allaient prendre une importance considérable, d'établir un tarif général. On prit alors pour base de la taxe le tarif de 50 centimes par unité de conversation de 5 minutes et 100 kilomètres ou fraction de 100 kilomètres de distance (*Décret du* 19 *octobre* 1889).

Tarif de nuit. — En vue de développer le trafic pendant les heures de nuit, cette taxe fut abaissée de 50 centimes à 30 centimes. Il fut décidé en outre que le public serait admis à contracter des abonnements mensuels pour conversation de nuit à heures fixes, et la taxe fut encore abaissée de 50 centimes à 20 centimes. Le tarif de nuit est appliqué successivement au fur et à mesure des demandes du public. Le double tarif de jour et de nuit est aujourd'hui en vigueur sur toutes les lignes importantes.

Ci-joint le tableau général des taxes appliquées.

DÉSIGNATION des points extrêmes des circuits	DIAMÈTRE des fils de bronze	LONGUEUR des circuits	TARIF des conversations de jour	de nuit Ordinaires	de nuit Par abonnement
RÉGION DE PARIS.		k. m.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Banlieue.					
Paris-Argenteuil	2m/m.	10.738	0,50	»	»
— Aubervilliers	id.	6 687	0,50	»	»
— Asnières	id.	7.040	0.50	»	»
— Bellevue	id.	13 470	0.50	»	»
— Bondy	id.	11.783	0,50	»	»
— Boulogne-sur-Seine	id.	9.880	0,50	»	»
— Charenton	id.	9.000	0 50	»	»
— Choisy-le-Roi	id.	15.500	0.50	»	»
— Clichy	id.	5.330	0,50	»	»
— Créteil	id.	14.600	0,50	»	»
— Corbeil	id.	35.000	0,50	»	»
— Enghien	id.	14.730	0,50	»	»
— Fontenay-sous-Bois	id.	11.440	0,50	»	»
— Gonesse	id.	16 870	0,50	»	»
— Issy-sur-Seine	id.	8.000	0,50	»	»
— Ivry	id.	8.915	0,50	»	»
— Juvisy	id.	21.025	0,50	»	»
— Montmorency	id.	18.365	0,50	»	»
— Montreuil-sous-Bois	id.	8.730	0,50	»	»
— Neuilly-sur-Seine	id.	6.320	0,50	»	»
— Nogent-sur-Marne	id.	16.766	0 50	»	»
— Puteaux-Suresnes	id.	8.934	0,50	»	»
— Le Raincy	id.	15.600	0.50	»	»
— Rueil	id.	13.000	0,50	»	»
— Saint-Denis	id.	10.140	0,50	»	»
— Saint-Germain-en-Laye	id.	22 000	0,50	»	»
— Saint-Cloud	id.	10.900	0.50	»	»
— Saint-Ouen	id.	5.550	0 50	»	»
— Sèvres	id.	11.070	0,50	»	»
— Le Vésinet	id.	17.000	0,50	»	»
— Versailles	id.	22.241	0,50	»	»
— Villejuif	id.	9.521	0,50	»	»
Bois-Colombes-Asnières	id.	1.600	0,50	»	»
Colombes Asnières	id.	3.150	0,50	»	»
Garches-Saint-Cloud	id.	3.115	0,50	»	»
Meudon-Bellevue	id.	850	0,50	»	»
Puteaux-Courbevoie	id.	1.837	0,50	»	»
Saint-Maur-les-Fossés-Créteil	id.	2.285	0,50	»	»
Thiais-Choisy-le-Roi	id.	1.300	0,50	»	»
Divers.					
Paris-Amiens	2m/m 1/2.	157.074	1,00	0,60	0,40
— Fontainebleau	2.	76.340	0,50	»	»
— Le Havre (1er circuit)	2 1/2.	228.000	1.50	0.90	0,60
— Le Havre (2e circuit)	3.	234.750	1,50	0,90	0,60
— Lille	2 1/2.	250 000	1,50	0,90	0,60
— Lyon-Marseille	4 1/2.	888.965	4,50	2,70	1,80
A reporter	......	2.414.351			

DÉSIGNATION des points extrêmes des circuits	DIAMÈTRE des fils de bronze	LONGUEUR des circuits	TARIF des conversations de jour	TARIF des conversations de nuit Ordinaires	TARIF des conversations de nuit Par abonnement
		k. m.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report.	. . . . . .	2.445.351			
Divers.					
Paris-Pontoise.	2.	28.095	0,50	»	»
— Reims.	2 1/2.	160.000	1,00	0,60	0,40
— Rouen.	*id.*	143 025	1,00	0,60	0,40
— Saint-Quentin.	3.	165.000	1,00	»	»
— Troyes.	2 1/2.	167.465	1,00	0,60	0,40
RÉGION DE LA MARNE.					
Reims-Epernay	2 1/2.	30 000	0,50	»	»
Epernay-Ay	2.	3.940	0,50	»	»
Epernay-Hautvillers	*id.*	5.285	0,50	»	»
Reims-Pontfaverger	*id.*	21 580	0,50	»	»
Reims-Warmériville	*id.*	18.350	0,50	»	»
RÉGION DU NORD.					
Lille-Armentières.	2.	16.420	0,50	»	»
— Arras	2 1/2.	51 080	0 50	»	»
— Calais.	*id.*	99.950	0,50	»	»
— Douai	*id.*	33.450	0,50	»	»
— Dunkerque (1er circuit) . .	5 (fer).	78.180	0,50	»	»
— Dunkerque (2e circuit) . .	2 1/2.	78.180	0,50	»	»
— Valenciennes.	*id.*	49 370	0,50	»	»
— Annœulin.	4 (fer).	17.500	0,50	»	»
— Seclin	2.	26 770	0,50	»	»
— Saint-Amand.	*id.*	53.400	0,50	»	»
— Roubaix.	*id.*	11.260	0,50	»	»
		17.290	0,50	0,30	0,20
— Tourcoing	4 (fer).	15.080	0,50	0,30	0,20
— Halluin.	*id.*	12 000	0,50	»	»
Dunkerque-Bergues	2.	9.500	0,50	»	»
Roubaix-Lannoy	*id.*	4 750	0,50	»	»
Fourmies-Roubaix-Tourcoing. .	2 1/2.	124.930	1,00	»	»
— Anor	4 (fer).	5.400	0,50	»	»
— Avesnes	4 m/m (fer).	16.450	0,50	»	»
— La Capelle.	*id.*	11.500	0,50	»	»
— Etrœungt.	*id.*	10.900	0,50	»	»
— Glageon	*id.*	5.600	0,50	»	»
— Sains.	*id.*	10.500	0,50	»	»
— Trélon-Ohain	*id.*	8.500	0,50	»	»
— Wignehies.	*id.*	2.900	0,50	»	»
RÉGION DU RHÔNE.					
Lyon-Saint-Etienne.	2 1/2.	58.000	0,50	0,30	0,20
— Vienne	*id.*	35.570	0,50	»	»
— Villeurbanne.	2.	4.457	0,50	»	»
Saint-Etienne-Saint-Chamond . .	2 1/2.	13.750	0,50	»	»
A reporter.	. . . . . .	2.622.978			

DÉSIGNATION des points extrêmes des circuits	DIAMÈTRE des fils de bronze	LONGUEUR des circuits	TARIF des conversations		
			de jour	de nuit	
				Ordinaires	Par abonnement
		k. m.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Report	......	2.622.978			
RÉGION DE LA SEINE-INFÉRIEURE.					
Havre-Bléville	2.	3.935	0,50	»	»
Havre-Etretat-Fécamp	2 1/2.	42.700	0,50	»	»
Rouen-Dieppe	*id.*	60.500	0,50	»	»
— Elbeuf-Louviers	*id.*	44.386	0,50	»	»
— Le Havre (1er circuit)	*id.*	91.895	0,50	0,30	0,20
— Honfleur-Trouville	*id.*	103.274	1,00	»	»
— Lillebonne-Bolbec	*id.*	58,010	0,50	»	»
DIVERS.					
Alger-Hussein-Dey	2	7.000	0,50	»	»
Alger-Maison-Carrée	*id.*	11.000	0,50	»	»
Bordeaux-Arcachon	2 1/2.	61.400	0,50	»	»
— Le Bouscat	2.	3.700	0,50	»	»
— Pauillac	2 1/2.	49.700	0,50	»	»
Braux-Mézières-Charleville	2.	11.800	0,50	»	»
Caen-Ouistreham	4 (fer).	14.500	0,50	»	»
Grasse-Cannes	2 1/2.	20.100	0,50	»	»
Maubeuge-Haumont	2.	4.900	0,50	»	»
Nancy-Dombasle-sur-Meurthe	*id.*	15.865	0,50	»	»
Nancy-Pont-Saint-Vincent	*id.*	12.095	0,50	»	»
Molinet-Digoin	3 (fer).	5.100	0,50	»	»
Saint-Aignan-La Chapelle-St-Martin-en-Vercors	*id.*	12.000	0,50	»	»
Sedan-Mézières-Charleville	2 1/2.	24.000	0,50	»	»
Troyes-Romilly-sur-Seine	*id.*	38.470	0,50	»	»
TOTAL	......	4.587.118			

Réseaux spéciaux.

Réseaux spéciaux à conversations taxées. — Les circuits téléphoniques aboutissent fréquemment dans des villes qui n'offrent pas les ressources locales nécessaires pour justifier la création de réseaux téléphoniques urbains. Dans ces conditions, il eût été excessif d'imposer le payement de l'abonnement nor-

mal de 150 ou de 200 francs, suivant l'importance de la population, aux personnes désireuses de posséder, à domicile, un poste qu'il leur permît d'utiliser sans déplacement pour elles le circuit interurbain.

Pour remédier à cet inconvénient, nous avons déjà indiqué ci-dessus qu'un décret du 23 mars 1891 a autorisé la création de réseaux spéciaux dits *réseaux à conversations taxées*. Le tarif annuel d'abonnement est, dans ce cas, de 50 francs. Toutes les conversations, quelles qu'elles soient, échangées à l'intérieur ou à l'extérieur du réseau, sont taxées d'après le tarif des communications interurbaines, c'est-à-dire à raison de 0^f,50 par 100 kilomètres ou fraction de 100 kilomètres et par unité de cinq minutes.

Tarif spécial pour les réseaux urbains. — Enfin, et pour faciliter ou développer l'échange de la correspondance à longue distance dans les villes déjà dotées d'un réseau urbain, ce même décret a autorisé la création, dans ces villes, d'abonnements spéciaux à moitié du tarif normal, c'est-à-dire à 200 francs à Paris, 150 francs à Lyon et à 100 francs ou 75 francs dans tous les autres cas, suivant le chiffre de la population, pour l'usage de lignes exclusivement destinées à la transmission des conversations interurbaines.

Le tableau qui suit donne, pour chaque ligne, la date de sa mise en service et, pour chaque année, le nombre des conversations et les produits réalisés :

Circuits interurbain[s]

DÉSIGNATION des villes en correspondance	DATE de la mise en service	NOMBRE DE CONVERSATIONS						
		1885	1886	1887	1888	1889	1890	18[illegible]
Rouen-Le Havre	1er janvier 1885	1.060	1.703	2.635	4.749	7.935	11.737	13.[illegible]
Lille-Douai	18 mai 1885	191	138	183	187	554	945	4.[illegible]
Lille-Dunkerque	19 juillet 1885	1.240	2.942	7.769	9.835	8.836	14.690	20.[illegible]
Lille-Cassel	18 août 1885	7	25	50	29	31	26	
Paris-Reims	1er décembre 1885	135	2.733	5.100	5.219	4.314	9.473	12.1[illegible]
Rouen-Elbeuf	1er février 1886	»	146	238	716	513	801	2.1[illegible]
Rouen-Louviers	id.	»	8	19	29	14	25	
Elbeuf-Louviers	id.	»	131	165	154	150	163	1[illegible]
Paris-Le Havre	8 mai 1887	»	»	8.903	21.884	22.282	22.292	30.0[illegible]
Paris-Rouen	25 juin 1887	»	»	1.586	9.436	13.000	20.838	28.6[illegible]
Paris-Lille	1er décembre 1887	»	»	933	19.719	22.086	21.585	29.6[illegible]
Paris-Lyon	6 août 1888	»	»	»	4.377	12.385	10.970	9.5[illegible]
Paris-Marseille	id.	»	»	»	1.534	8.171	6.429	6.5[illegible]
Marseille-Lyon	id.	»	»	»	1.109	3.576	2.869	2.3[illegible]
Paris-Versailles	18 novembre 1889	»	»	»	»	211	4.213	6.4[illegible]
Lille-Valenciennes	1er novembre 1890	»	»	»	»	»	291	5.0[illegible]
Lille-Arras	16 novembre 1890	»	»	»	»	»	110	3.9[illegible]
Bordeaux-Pauillac	20 novembre 1890	»	»	»	»	»	333	3.4[illegible]
Paris-Dieppe	16 décembre 1890	»	»	»	»	»	33	2.6[illegible]
Rouen-Dieppe	id.	»	»	»	»	»	57	2.6[illegible]
Caen-Ouistreham	1er janvier 1891	»	»	»	»	»	»	1.6[illegible]
Lyon-Saint-Etienne	5 janvier 1891	»	»	»	»	»	»	7.1[illegible]
Le Havre-Dieppe	15 février 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Sedan-Mézières-Charleville	1er avril 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Valenciennes	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Saint-Quentin	1er mai 1891	»	»	»	»	»	»	1.6[illegible]
Paris-Troyes	16 mai 1891	»	»	»	»	»	»	2.[illegible]
Paris-Elbeuf	1er juin 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Pontoise	1er juin 1891	»	»	»	»	»	»	1.[illegible]
Louviers-Dieppe	15 juin 1891	»	»	»	»	»	»	
Paris-Amiens	id.	»	»	»	»	»	»	3.[illegible]
Paris-Louviers	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Dunkerque-Valenciennes	1er juillet 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Le Havre-Elbeuf	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Le Havre-Etretat	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Le Havre-Fécamp	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Epernay	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Reims-Epernay	id	»	»	»	»	»	»	2.[illegible]
Rouen-Fécamp	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Elbeuf-Dieppe	15 juillet 1891	»	»	»	»	»	»	
Elbeuf-Fécamp	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fécamp-Etretat	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Etretat	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Fécamp	id.	»	»	»	»	»	»	3.[illegible]
Paris-Fontainebleau	id.	»	»	»	»	»	»	1.[illegible]
Lille-Calais	29 juillet 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Armentières-Calais	1er août 1891	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Armentières-Dunkerque	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Arras-Valenciennes	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Arras-Dunkerque	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Calais-Dunkerque	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Dunkerque-Douai	id.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fécamp-Dieppe	id	»	»	»	»	»	»	[illegible]
	A reporter	2.633	7.826	27.581	78.977	104.058	127.880	217.[illegible]

'roduits.

PRODUITS							OBSERVATIONS
85	1886	1887	1888	1889	1890	1891	
. c.	fr. c	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
0,00	1.703,00	2.635,00	4.749,00	6.652,50	5.868,50	6.860,50	
1,00	138,00	183,00	187,00	469,50	472,50	2.036,50	
0,00	2.942,00	7.769,00	9.835,00	7.786,00	7.345,00	10.407,40	
7,00	25,00	50,00	29,00	31,00	13,00	6,00	
35,00	2.733,00	5.100,00	5.219,00	4.314,00	9.473,00	12.315,20	
»	146,00	238,00	716,00	475,50	400,50	1.085,00	
»	8,00	19,00	29,00	12,50	12,50	23,50	
»	131,00	165,00	154,00	116,00	81,50	82,50	
»	»	8.903,00	21.884,00	23.721,60	33.424,80	44.457,90	
»	»	1.586,00	9.436,00	13.000,00	20.834,00	28.191,60	
»	»	933,00	19.719,00	23.465,50	32.337,80	42.399,60	
»	»	»	8.754,00	26.666,00	33.045,60	29.575,20	
»	»	»	4.602,00	26.347,50	28.602,90	28.156,50	
»	»	»	1.663,50	5.722,00	5.738,00	4.639,20	
»	»	»	»	105,50	2.106,50	3.249,00	
»	»	»	»	»	145,50	2.536,00	
»	»	»	»	»	55,00	1.994,50	
»	»	»	»	»	166,50	1.563,00	
»	»	»	»	»	49,50	4.017,00	
»	»	»	»	»	28,50	1.307,00	
»	»	»	»	»	»	820,50	
»	»	»	»	»	»	3.574,50	
»	»	»	»	»	»	318,00	
»	»	»	»	»	»	435,50	
»	»	»	»	»	»	226,50	
»	»	»	»	»	»	4.665,00	
»	»	»	»	»	»	2.225,00	
»	»	»	»	»	»	536,00	
»	»	»	»	»	»	872,50	
»	»	»	»	»	»	6,00	
»	»	»	»	»	»	3.236,00	
»	»	»	»	»	»	19,00	
»	»	»	»	»	»	302,00	
»	»	»	»	»	»	116,00	
»	»	»	»	»	»	65,00	
»	»	»	»	»	»	380,00	
»	»	»	»	»	»	893,00	
»	»	»	»	»	»	1.069,50	
»	»	»	»	»	»	240,00	
»	»	»	»	»	»	65,00	
»	»	»	»	»	»	9,00	
»	»	»	»	»	»	12,50	
»	»	»	»	»	»	241,50	
»	»	»	»	»	»	714,00	
»	»	»	»	»	»	1.580,50	
»	»	»	»	»	»	838,55	
»	»	»	»	»	»	3,00	
»	»	»	»	»	»	19,50	
»	»	»	»	»	»	84,00	
»	»	»	»	»	»	170,00	
»	»	»	»	»	»	157,00	
»	»	»	»	»	»	74,00	
»	»	»	»	»	»	35,00	
33,00	7.826,00	27.581,00	86.976,50	138.885,00	180.201,10	248.162,60	

DÉSIGNATION des villes en correspondance	DATE de la mise en service	NOMBRE DE CONVERSATIONS						
		1885	1886	1887	1888	1889	1890	18
	Report	2.633	7.826	27.581	78.977	104.058	127.880	217.
Grasse-Cannes.	1[er] août 1891. . . .	»	»	»	»	»	»	
Le Havre-Trouville	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Trouville.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Pontoise-Fontainebleau. . . .	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Pontoise-Rouen	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Rouen-Etretat	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Rouen-Trouville.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Trouville-Dieppe.	15 août 1891. . . .	»	»	»	»	»	»	
Armentières-Arras	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Calais-Roubaix-Tourcoing. . .	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Douai-Valenciennes.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Le Havre-Louviers.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Calais	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Douai.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Dunkerque	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Roubaix-Tourcoing. . . .	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Vienne.	1[er] septembre 1891.	»	»	»	»	»	»	
Bordeaux-Arcachon	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Calais-Douai.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Calais-Valenciennes.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Dunkerque-Roubaix-Tourcoing	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Epernay-Hautvillers.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Fécamp-Trouville.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
La Chapelle-Saint-Martin-en-Vercors.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
La Chapelle-Saint-Aignan-en-Vercors.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Soisy.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Reims-Hautvillers.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Saint-Aignan-Saint-Martin-en-Vercors.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Valenciennes - Roubaix - Tourcoing.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Vienne-Marseille.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Vienne-Saint-Etienne.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Lyon-Vienne	7 septembre 1891.	»	»	»	»	»	»	
Arras-Calais.	15 septembre 1891.	»	»	»	»	»	»	
Honfleur-Trouville.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Honfleur-Elbeuf.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Le Havre-Honfleur	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Honfleur.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Rouen-Honfleur	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Trouville-Elbeuf.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Arcachon-Pauillac.	1[er] septembre 1891.	»	»	»	»	»	»	
Arras-Douai	1[er] octobre 1891 . .	»	»	»	»	»	»	
Arras-Roubaix-Tourcoing . . .	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Fécamp-Honfleur	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Paris-Hautvillers	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Armentières-Douai	15 octobre 1891 . .	»	»	»	»	»	»	
Armentières - Roubaix - Tourcoing.	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Douai-Roubaix-Tourcoing . . .	*id*	»	»	»	»	»	»	
Dunkerque-Halluin	*id.*	»	»	»	»	»	»	
Bordeaux-Le Bouscat.	26 octobre 1891 . .	»	»	»	»	»	»	
Aix-Marseille	28 octobre 1891 . .	»	»	»	»	»	»	
	A reporter	2.633	7.826	27.581	78.977	104.058	127.880	223.

PRODUITS							OBSERVATIONS
[illegible]5	1886	1887	1888	1889	1890	1891	
fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
[illegible]3,00	7.826,00	27.581,00	86.976,50	138.885,00	180.281,10	248.162,60	
»	»	»	»	»	»	404,50	
»	»	»	»	»	»	55,00	
»	»	»	»	»	»	922,50	
»	»	»	»	»	»	4,00	
»	»	»	»	»	»	33,00	
»	»	»	»	»	»	8,00	
»	»	»	»	»	»	47,00	
»	»	»	»	»	»	19,00	
»	»	»	»	»	»	0,50	
»	»	»	»	»	»	31,00	
»	»	»	»	»	»	109,50	
»	»	»	»	»	»	5,00	
»	»	»	»	»	»	194,00	
»	»	»	»	»	»	73,50	
»	»	»	»	»	»	100,00	
»	»	»	»	»	»	265,00	
»	»	»	»	»	»	51,00	
»	»	»	»	»	»	498,50	
»	»	»	»	»	»	16,00	
»	»	»	»	»	»	4,00	
»	»	»	»	»	»	340,00	
»	»	»	»	»	»	88,00	
»	»	»	»	»	»	3,00	
»	»	»	»	»	»	21,50	
»	»	»	»	»	»	6,00	
»	»	»	»	»	»	14,00	
»	»	»	»	»	»	28,50	
»	»	»	»	»	»	8,50	
»	»	»	»	»	»	94,50	
»	»	»	»	»	»	10,00	
»	»	»	»	»	»	16,00	
»	»	»	»	»	»	266,00	
»	»	»	»	»	»	3,00	
»	»	»	»	»	»	1,50	
»	»	»	»	»	»	19,00	
»	»	»	»	»	»	61,00	
»	»	»	»	»	»	76,50	
»	»	»	»	»	»	52,50	
»	»	»	»	»	»	19,00	
»	»	»	»	»	»	11,00	
»	»	»	»	»	»	78,50	
»	»	»	»	»	»	25,50	
»	»	»	»	»	»	4,50	
»	»	»	»	»	»	7,00	
»	»	»	»	»	»	43,00	
»	»	»	»	»	»	22,00	
»	»	»	»	»	»	17,00	
»	»	»	»	»	»	3,00	
»	»	»	»	»	»	17,00	
»	»	»	»	»	»	231,50	
[illegible].633,00	7.826,00	27.581,00	86.976,50	138.885,00	180.201,10	252.537,60	

DÉSIGNATION des villes en correspondance	DATE de la mise en service	NOMBRE DE CONVERSATIONS						
		1885	1886	1887	1888	1889	1890	189[illegible]
	Report	2.633	7.826	27.581	78.977	104.058	127.880	223.5[illegible]
Paris-Saint-Étienne.	1er uovembre 1691.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Bolbec-Dieppe	15 novembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fécamp-Bolbec	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fécamp-Lillebonne	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Fourmies-Roubaix-Tourcoing.	*id*.	»	»	»	»	»	»	5[illegible]
Le Havre-Bolbec.	15 novembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Le Havre-Lillebonne	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Lille-Fourmies.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Lillebonne-Elbeuf.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Bolbec.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Lillebonne.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Aix	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Rouen-Bolbec	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Rouen-Lillebonne	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Saint-Etienne-Marseille.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Bléville-Le Havre.	25 novembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Aix-Vienne.	1er décembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Bléville-Paris	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Honfleur-Dieppe.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Saint-Chamond.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Saint-Chamond-Lyon.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Romilly-Troyes.	6 décembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Armentières.	15 décembre 1891.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Paris-Arras.	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Romilly-Paris	*id*.	»	»	»	»	»	»	[illegible]
Saint-Chamond-Saint-Etienne.	*id*.	»	»	»	»	»	»	10[illegible]
	Total.	2.633	7.826	27.581	78.977	104.058	127.880	224.70[illegible]

Étendue de la zone d'échange des communications.

Antérieurement au 1er janvier 1890, les communications interurbaines ne s'échangeaient, en principe, qu'entre les deux points extrêmes d'une même ligne. Ainsi le circuit Paris-Lille, par exemple, était exclusivement utilisé pour la transmission des conversations entre les abonnés ou le public de ces deux villes. Étaient considérés, comme abonnés de Lille pouvant correspondre de réseau à réseau par l'intermédiaire des circuits à longue distance, les abonnés des réseaux annexes dépendant du réseau principal de Lille. Il en était de même de tous les abonnés des réseaux annexes

PRODUITS							OBSERVATIONS
85	1886	1887	1888	1889	1890	1891	
r. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	
33,00	7.826,00	27.581,00	86.976,50	138.885,00	180.201,10	252.537,60	
»	»	»	»	»	»	126,00	
»	»	»	»	»	»	5,00	
»	»	»	»	»	»	12,00	
»	»	»	»	»	»	2,00	
»	»	»	»	»	»	548,00	
»	»	»	»	»	»	16,00	
»	»	»	»	»	»	18,00	
»	»	»	»	»	»	19,00	
»	»	»	»	»	»	7,00	
»	»	»	»	»	»	37,50	
»	»	»	»	»	»	30,00	
»	»	»	»	»	»	15,00	
»	»	»	»	»	»	10,50	
»	»	»	»	»	»	29,50	
»	»	»	»	»	»	7,50	
»	»	»	»	»	»	5,50	
»	»	»	»	»	»	2,50	
»	»	»	»	»	»	1,50	
»	»	»	»	»	»	2,00	
»	»	»	»	»	»	42,00	
»	»	»	»	»	»	41,00	
»	»	»	»	»	»	5,00	
»	»	»	»	»	»	4,50	
»	»	»	»	»	»	148,00	
»	»	»	»	»	»	4,50	
»	»	»	»	»	»	51,00	
633,00	7.826,00	27.581,00	86.976,50	138.885,00	180.201,10	254.532,10	

rattachés à un réseau principal tête de ligne d'un circuit interurbain.

Depuis cette époque le réseau téléphonique interurbain a été constitué de manière à permettre aux réseaux d'une même région de communiquer entre eux.

C'est ainsi que par l'intermédiaire du poste central de Rouen tous les réseaux de Normandie sont mis en relation les uns avec les autres et avec Paris.

Lille est le centre des communications interurbaines du Nord.

Les autres centres importants sont :

Reims, Nancy, Lyon, Marseille, Nice, Bordeaux.

Cette organisation s'est étendue au fur et à mesure

de l'extension du réseau téléphonique interurbain.

La plupart des villes importantes sont à l'heure actuelle dotées d'un réseau urbain construit ou en construction. Les lignes existantes les font communiquer entre elles. Mais le réseau interurbain est loin d'avoir atteint le développement auquel il est destiné. Les petites communes réclament leur rattachement au réseau général et l'établissement de cabines où le public sera admis à converser à longue distance.

Ce nouveau service est appelé à prendre une extension considérable, et je pourrais citer l'arrondissement de Pontarlier (Doubs), par exemple, dans lequel tous les maires cherchent à s'entendre pour construire un réseau interurbain desservant toutes les communes sans exception et devant les rattacher au chef-lieu du département. Cet exemple sera suivi.

Circuits téléphoniques internationaux.

Réseau franco-belge. — La France et la Belgique sont les premiers pays qui, en Europe, aient songé à compléter le système des communications électriques par de nouvelles lignes exclusivement affectées à l'échange des conversations téléphoniques.

Une convention portant la date du 1er décembre 1886 est intervenue entre les gouvernements français et belge pour régler les conditions de la pose et le mode d'exploitation du premier circuit.

Un deuxième arrangement a été conclu le 15 avril 1887 pour instituer sur la nouvelle ligne un régime spécial d'abonnements.

Le développement des correspondances a permis d'établir en 1888 un deuxième circuit.

Les conventions de décembre 1886 et avril 1887 ne

s'appliquaient qu'aux relations directes de Paris avec Bruxelles.

Il a paru nécessaire de les remplacer par un traité d'un caractère plus général. Le Parlement a adopté le projet de loi portant approbation de la convention conclue entre les administrations française et belge, à la date du 31 août 1891, et la loi a été promulguée à la date du 19 mars 1892.

Sous le régime de cette loi, deux nouvelles lignes internationales reliant les réseaux de Lille, Roubaix-Tourcoing, d'une part, aux réseaux belges de Tournai, d'autre part, aux réseaux de Courtrai, ont été mises en service à la date du 1er avril 1892.

Un troisième circuit Paris-Bruxelles a été mis en service dans le courant du mois d'avril et servira aux relations de Paris avec Anvers.

Le tableau ci-après indique les résultats de l'exploitation.

DÉSIGNATION des années	NOMBRE DE CONVERSATIONS			MONTANT des produits	PART revenant à la France
	ordinaires	par abonnement	total		
				fr.	fr. c.
1887.	15.545	10.682	26.227	59.090	35.454,60
1888.	27.328	15.985	43.313	103.084	61.850,00
1889.	34.305	14.721	49.026	124.065	74.439,00
1890.	34.980	17.944	52.924	131.115	78.669,00
1891.	35.422	17.958	53.380	132.641	79.584,00

Les recettes sont partagées dans la proportion de 3/5 pour la France et 2/5 pour la Belgique.

Réseau franco-anglais. — L'établissement d'une communication téléphonique avec la Grande-Bretagne avait été projeté peu de temps après le rachat, à frais communs, par les gouvernements français et anglais des câbles sous-marins reliant entre eux les deux pays.

Grâce aux crédits accordés par le Parlement, un nouveau câble a été immergé au mois de janvier 1891 et le circuit a pu être mis en service dès le 1er avril de cette même année.

L'établissement de la communication Paris-Londres est la première application qui ait été faite, de téléphonie sous-marine, en Europe.

Une convention entre les administrations française et anglaise a été conclue à la date du 16 juin 1891. Le projet de loi approuvant cette convention a été adopté par le Parlement, et la loi a été promulguée à la date du 19 mars 1892.

Le circuit Paris-Londres étant devenu insuffisant, une seconde ligne a été construite et mise en service à la date du 19 février 1892.

Le tableau ci-contre donne les résultats, pour 1891, de l'exploitation du circuit téléphonique Paris-Londres.

DÉSIGNATION des mois.	NOMBRE de conversations	PRODUIT	OBSERVATIONS
		fr.	
Avril	1.223	12.230	
Mai	1.491	14.910	
Juin	1.707	17.070	
Juillet	1.989	18.990	
Août	2.276	22.760	
Septembre	2 311	23.110	
Octobre	2.732	27.320	
Novembre	1.331	13.310	Câble rompu.
Décembre	2.373	23.730	
TOTAL	17.433	174.330	

Réseau franco-monégasque. — L'administration des postes et télégraphes a construit et entretient pour le compte du gouvernement monégasque, qui l'exploite directement, le réseau téléphonique intérieur de la Principauté.

Elle a construit également avec le concours financier du gouvernement princier deux lignes internationales : Monaco-Nice et Monaco-Menton.

La base du tarif est la même que celle du service intérieur français, c'est-à-dire la taxe de 50 centimes par cinq minutes de conversation et par 100 kilomètres ou fraction de 100 kilomètres de distance entre les points reliés.

La part de taxe revenant à la Principauté est de 10 centimes par conversation, quelle que soit la distance; le surplus revient à la France.

Ces lignes ont été mises en service le 9 janvier 1892.

Réseau franco-suisse. — L'administration est en négociations avec le gouvernement fédéral pour organiser la correspondance téléphonique entre la France et la Suisse.

Création des réseaux urbains et interurbains.

Avances et remboursements.

Situation financière des réseaux créés. — En vertu des lois du 16 juillet 1889 et du 20 mai 1890, le gouvernement est tenu, ainsi que nous l'avons rappelé au début de ce rapport, de rendre compte au Parlement des traités passés en exécution des dispositions qu'elles prévoient pour la construction des réseaux urbains et des réseaux interurbains.

Le tableau suivant indique le montant des avances faites au Trésor pour chacun des réseaux urbains et interurbains sous le régime de ces lois, ainsi que l'état actuel du remboursement des avances.

Tableau des avances faites à l'État pour l'établissement des réseaux et des remboursements effectués.

DÉSIGNATION des réseaux et circuits	DATE de la mise en service	MONTANT des avances	REMBOURSEMENTS effectués au 30 avr. 1892	OBSERVATIONS
		1° *Réseaux :*		
		fr.	fr.	
Choisy-le-Roi	4 sept. 1890	4.900,00	4.900,00	Soldé le 21 nov. 1891.
Puteaux	1er juill. 1890	9.000,00	9.000,00	Soldé le 21 août 1891.
Limoges	20 mai 1889	26.228,53	26.228,53	Soldé le 1er nov. 1890.
Grenoble	1er avril 1890	30.150,29	30.150,29	Soldé le 9 mars 1891.
Besançon	1er juin 1890	35.527,05	35.527,05	Soldé le 20 nov. 1891.
Dieppe	1er août 1890	9.093,13	9.093,13	Soldé le 29 avril 1891.
Dijon	1er nov. 1890	13.230,00	13.230,00	Soldé le 9 mars 1891.
Douai	15 déc. 1890	16.000,00	16.000,00	Soldé le 20 nov. 1891.
Menton	1er janv. 1891	10.000,00	10.000,00	Soldé le 18 déc. 1891.
Dombasle	1er mars 1891	4.000,00	4.000,00	Soldé le 20 nov. 1891.
Mâcon	1er juill. 1891	12.000,00	12.000,00	Soldé le 21 août 1891.
Grasse	1er août 1891	6.000,00	6.000,00	Soldé le 17 oct. 1891.
Beaune	1er sept. 1891	10.100,00	10.100,00	Soldé le 20 nov. 1891.
Saint-Denis	15 oct. 1890	32.750,00	26.953,38	
Ivry	20 déc. 1890	13.000,00	7.545,32	
Enghien	23 août 1890	7.000,00	7.000,00	Soldé le 23 fév. 1892.
Montmorency	9 août 1890	11.000,00	7.851,24	
Asnières	1er juin 1891	4.000,00	4.000,00	*Idem.*
Boulogne-sur-Seine	26 sept. 1891	6.000,00	2.224,11	
Charenton	27 avril 1891	5.000,00	5.000,00	Soldé le 20 fév. 1892.
Clichy	1er janv. 1891	9.000,00	9.000,00	Soldé le 23 fév. 1892.
Fontenay-sous-Bois	11 fév. 1891	8.000,00	4.798,08	
Juvisy-sur-Orge	23 mars 1891	9.000,00	9.000,00	Soldé le 20 fév. 1892.
St-Germain-en-Laye	18 janv. 1891	12.000,00	9.096,47	
Rueil	5 avril 1891	11.000,00	5.062,08	
Créteil	27 avril 1891	13.000,00	1.091,73	
Saint-Cloud	24 avril 1891	11.000,00	4.681,77	
Neuilly-sur-Seine	12 oct. 1891	10.000,00	6.027,26	
Gonesse	1er août 1891	7.000,00	1.024,92	
Bondy	14 sept. 1891	8.000,00	3.212,42	
Vienne	1er déc. 1890	33.430,27	33.430,27	Soldé le 19 mars 1892.
Valenciennes	15 déc. 1890	20.960,35	17.097,17	
Charleville	1er janv. 1891	15.000,00	4.958,35	
Sedan	15 janv. 1891	20.000,00	15.711,98	
Orléans	1er août 1891	18.000,00	3.793,26	
Angers	1er juill. 1891	25.000,00	18.860,08	
Epernay-Ay	*Idem*	16.000,00	8.283,53	
Etrœungt	1er fév. 1891	5.000,00	2.465,58	
Arras	16 mai 1891	17.000,00	5.874,85	
Mazamet	1er oct. 1891	13.000,00	4.092,74	
Toulouse	1er sept. 1891	26.000,00	18.981,82	
La Capelle	18 juin 1891	4.000,00	1.372,80	
Saint-Chamond	1er déc. 1891	9.800,00	3.697,30	
Thizy	26 août 1891	4.000,00	4.000,00	Soldé le 19 mars 1892.
Châlons-sur-Marne	1er août 1891	15.000,00	5.809,82	
Roanne	1er juill. 1891	16.000,00	12.682,86	
Cognac	1er déc. 1891	12.000,00	5.437,17	
	A reporter.	633.169,62	466.347,36	

DÉSIGNATION des réseaux et circuits	DATE de la mise en service	MONTANT des avances	REMBOURSEMENTS effectués au 30 avr. 1892	OBSERVATIONS
		fr.	fr.	
	Report. . .	633.169,62	466.347,36	
Villeurbanne.	21 oct. 1891 . .	3.050,00	1.109,78	
Maison-Carrée.	18 avril 1891 .	4.300,00	4.300,00	Soldé le 23 fév. 1892.
Maubeuge	1er oct. 1891. .	12.000,00	3.860,24	
Bogny-Braux	1er sept. 1891 .	4.000,00	1.451,13	
Cette	1er janv. 1892 .	15.000,00	3.698,50	
Valence.	*Idem*	10.000,00	2.171,00	
Hirson	*Idem*	4.000,00	832,50	
Bayonne	1er mars 1892 .	14.500,00	3.005,65	
Chalon-sur-Saône. . . .	1er nov. 1891. .	12.000,00	3.213,34	
Pont-Saint-Vincent . . .	*Idem*	4.000,00	802,00	
Nîmes.	1er mars 1892 .	14.000,00	6.497,87	
Barentin	1er fév. 1892. .	9.000,00	1.400,22	
Lannoy.	1er janv. 1892 .	4.000,00	1.097,50	
Béziers.	15 mars 1892 .	12.000,00	2.844,89	
	2° Lignes interurbaines :			
Fécamp (réseau et ligne Havre-Fécamp). . .	1er juill. 1891 .	14.000,00	6.193,09	
Tours (réseau et ligne Paris-Tours).	15 nov. 1891. .	110.000,00	3.827,50	
Toul (réseau et ligne Toul-Nancy)	1er déc. 1891. .	17.000,00	1.270,78	
Lunéville (réseau et ligne Nancy-Lunéville).	1er avril 1892 .	22.000,00	2.268,75	
Courbevoie-Puteaux . .	2 avril 1891 . .	2.000,00	901,50	
Loury-Orléans.	10 janv. 1892 .	4.500,00	»	
Thiais-Choisy.	20 mai 1891. .	1.200,00	»	
Paris-Corbeil	13 juin 1891 . .	17.500,00	4.888,64	
Paris-Pontoise.	*Idem*	14.000,00	1.226,50	
Paris-Colombes	3 juin 1891. . .	5.000,00	1.147,50	
Paris-Vésinet	2 juill. 1891 . .	9.000,00	2.734,44	
Paris-Sèvres.	29 avril 1891. .	8.540,00	1.470,66	
Paris-Aubervilliers . . .	1er mai 1891. .	1.500,00	»	
Paris-Montreuil.	10 juin 1891. .	9.900,00	2.289,69	
Paris-Argenteuil	15 mars 1891 .	6.100,00	2.525,52	
Paris-Asnières.	20 oct. 1890 . .	5.000,00	5.000,00	Soldé le 20 fév. 1892.
Paris-Issy	18 déc. 1890. .	1.200,00	1.200,00	Soldé le 20 nov. 1891.
Paris-Saint-Ouen. . . .	22 mars 1891 .	1.200,00	1.200,00	*Idem.*
Paris-Nogent-s.-Marne.	1er mars 1891 .	6.500,00	»	
Paris-Le Raincy.	*Idem*	11.000,00	541,50	
Paris-Fontainebleau , .	21 oct. 1891 . .	50.000,00	3.391,59	
Paris-Saint-Maur	1er sept. 1891 .	6.000,00	771,50	
Paris-Livry.	21 mars 1892 .	1.800,00	»	
Paris-Meaux.	1er fév. 1892. .	14.000,00	»	
Paris-Villejuif.	11 nov. 1891. .	1.000,00	»	
Garches-Saint-Cloud . .	1er oct. 1891 . .	1.500,00	»	
Deuil-Montmorency. . .	14 déc. 1891 . .	900,00	»	
Lille-Valenciennes . . .	1er nov. 1890 .	10.712,15	3.088,00	
Bordeaux-Pauillac . . .	20 nov. 1890. .	13.021,00	5.301,65	
Dieppe-Rouen	16 déc. 1890. .	11.000,00	3.610,00	
Meudon-Bellevue	7 sept. 1891 . .	1.000,00	1.000,00	Soldé le 20 nov. 1891.
Lyon-Saint-Etienne. . .	5 janv. 1891. .	45.000,00	6.226,50	
	A reporter. . .	1.178.092,77	564.707,29	

DÉSIGNATION des réseaux et circuits	DATE de la mise en service	MONTANT des avances	REMBOURSEMENTS effectués au 30 avr. 1892	OBSERVATIONS
		fr.	fr.	
	Report. . .	1.178.092,77	564,707,29	
Lille-Calais.	29 juill. 1891 .	44.920,00	1.458,50	
Lille-Dunkerque.	13 juill. 1891 .	21.000,00	4.523,35	
Paris-Saint-Quentin . .	1er mai 1891. .	48.000,00	7,152,00	
Paris-Nantes.	12 janv. 1892 .	180.000,00	2.815,42	
Paris-Le Havre	26 déc. 1890. .	51.452,56	29.982.00	
Paris-Amiens	13 juin 1891.	40.000,00	5.238,00	
Paris-Troyes	16 mai 1891. .	51.000,00	2.225,00	
Reims-Epernay	1er juill. 1891 .	9.000,00	1.848,00	
Lyon-Vienne.	7 sept. 1891 . .	10.000,00	»	
Tourcoing-Fourmies . .	15 nov. 1891. .	28.636,35	»	
Rouen-Trouville.	1er août 1891 .	22 000,00	»	
Rouen-Bolbec	15 nov. 1891 .	16.000,00	559,50	
Cannes-Grasse.	1er août 1891 .	7.000,00	1.116,00	
Bordeaux-Arcachon . .	1er sept. 1891 .	16 500,00	504,50	
Marseille-Aix.	28 oct. 1891 . .	20.000,00	956,00	
Troyes-Romilly	6 déc 1891. . .	12.000,00	»	
Paris-Rouen.	6 janv. 1892. .	44 000,00	5 319,55	
Paris-Valenciennes. . .	1er avril 1892 .	132.800,00	»	
Hautvillers-Epernay . .	11 sept. 1891 .	2.000,00	»	
Rouen-Le Havre	1er mars 1892.	20.000,00	»	
Cannes-Nice.	20 janv. 1892 .	5 000,00	»	
Paris-Pré-St-Gervais . .	21 mars 1892 .	1.000,00	»	
Pont-Audemer-Rouen. .	1er fév. 1892. .	12.000,00	»	
Nice-Menton.	9 janv. 1892. .	8.000 00	»	
Le Havre-Bléville. . . .	25 nov. 1891. .	750,00	»	
Bordeaux-Le Bouscat. .	26 oct. 1891 . .	1.500,00	1.500,00	Soldé le 29 mars 1892.
Saint-Germain-Marly. .	4 janv. 1892. .	1 350,00	»	
	TOTAUX. .	1.984.001,68	629.905,11	

3e PARTIE.

BUREAUX TÉLÉPHONIQUES MUNICIPAUX.

—

Aux termes d'un décret en date du 9 juillet 1890, l'administration est autorisée à établir, dans les localités secondaires, des bureaux téléphoniques municipaux reliés au réseau télégraphique général.

L'établissement de ces bureaux a lieu avec le con-

cours des communes ou de simples particuliers qui font l'avance à l'État des frais de premier établissement.

Cette avance est intégralement remboursable au moyen d'une surtaxe de 25 centimes appliquée à tous les télégrammes circulant par les lignes téléphoniques municipales, jusqu'à complet remboursement de l'avance faite au Trésor.

Les communes ou les particuliers ont la faculté d'éluder l'application de cette surtaxe en faisant à l'État l'abandon de la somme représentant les frais de premier établissement.

Sous le régime de ces nouvelles dispositions, dix bureaux ont été mis en service en 1890, dans les communes dont les noms suivent :

Bureaux téléphoniques municipaux ouverts en 1890.

DÉSIGNATION DES BUREAUX.	DÉPARTEMENTS	DATE de la mise en service
Saint-Agnan-en-Vercors. . .	Drôme	10 septembre.
Saint-Martin-en-Vercors. . .	Drôme	10 septembre.
Sandricourt	Oise.	10 septembre.
Adissan.	Hérault.	25 octobre.
Milly	Manche.	25 octobre.
Bussières-lès-Belmont	Haute Marne	10 novembre.
Cestas	Gironde.	10 novembre.
Chapelle-d'Huin.	Doubs	10 décembre.
Bourron	Seine-et-Marne	25 décembre.
Saint-Gérand-de-Vaux. . . .	Allier.	25 décembre.

Soixante-dix bureaux ont été ouverts à l'exploitation en 1891, dans les localités désignées ci-après :

Bureaux ouverts en 1891.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION DES BUREAUX	DATE de la mise en service
Haute-Marne	Aubepierre	25 janv. 1891.
Seine-et-Marne	Chevry-Cossigny	25 —
Meurthe-et-Moselle	Jœuf	25 —
Seine-et-Marne	Marcilly	25 —
Charente-Inférieure	La Ronde	25 —
Charente-Inférieure	Taugon	25 —
Allier	Theneuille	25 —
Aisne	St-Erme-Outre et Ramecourt	10 février.
Cher	Herry	10 —
Vosges	Ballon d'Alsace	10 —
Vosges	Saint-Stail	10 —
Vosges	Luvigny	10 —
Aisne	Martigny	25 —
Nord	Liessies	25 février 1891.
Meurthe-et-Moselle	Saint-Sauveur	25 —
Meurthe-et-Moselle	Waville	25 —
Somme	Mont-Saint-Quentin	25 mars.
Seine-et-Oise	Villennes	10 avril.
Loiret	Lailly	25 —
Oise	Eve	25 —
Drôme	Sauzet	25 —
Oise	Henonville	25 —
Aisne	Leschelle	25 —
Aude	Trausse	10 mai.
Loiret	Tavers	10 —
Mayenne	Alexain	10 —
Charente-Inférieure	Aumagne	25 —
Alpes-Maritimes	Thorenc	10 juin.
Loir-et-Cher	Souday	10 —
Meurthe-et-Moselle	Saint-Thomas-de-Conac	10 juillet.
Vosges	La Grande-Fosse	10 —
Haute-Marne	Orges	25 —
Mayenne	La Gravelle	10 août.
Basses-Alpes	Revest-du-Bion	10 —
Alger	Birmandreïs	10 août.
Seine-et-Marne	Cesseras	10 —
Seine-et-Oise	Soisy-sur-Montmorency	10 —
Loir-et-Cher	Souesmes	10 septembre.
Loiret	Basoche-sur-le-Betz	10 —
Loiret	Ervauville	10 —
Gironde	Sainte-Croix-du-Mont	10 —
Haute-Saône	Ormoy	10 —
Isère	Notre-Dame-de-Vaux	10 —
Aude	Revel	10 —
Vosges	Raon-sur-Plaine	25 —
Allier	Molinet	25 —
Côte-d'Or	Savoisy	25 —
Indre	Forges (hameau de la commune de Velle)	25 —
Vendée	Landes-Genusson	25 —
Vosges	Plainfaing	25 —
Seine-et-Marne	La Chapelle-Rablais	10 octobre.
Seine-et-Marne	Les Moutils (hameau de la Chapelle-Rablais	10 —
Allier	Saint-Hilaire	10 —
Creuse	Glénie	10 —
Loir-et-Cher	Limay	25 —
Charente-Inférieure	Chagnon-d'Aumagne	25 —
Seine-et-Marne	Doue	10 novembre.
Gironde	Hourtin	10 —

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION DES BUREAUX	DATE de la mise en service
Oise	Chèvreville	10 —
Oise	Sennevières (hameau de Chèvreville)	10 —
Oise	Brégy	10 —
Cher	Vornay	10 —
Indre	Le Menoux	10 —
Ardennes	Braux	10 —
Gard	Domazan	25 —
Loir-et-Cher	Chemery	25 —
Aude	Roquecourbe-d'Aude	25 —
Creuse	Chambon-Sainte-Croix	10 décembre.
Ardennes	Rocquigny	10 —
Var	Vinon	25 —

La création des bureaux dont les noms suivent, a été en outre, décidée et leur mise en service a eu lieu dans les premiers mois de l'année 1892.

Bureaux téléphoniques municipaux en construction.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION des bureaux	DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION des bureaux
Loiret	Allainville.	Gers	Montguillem.
Côte-d'Or	Argilly.	Oise	Morienval.
Morbihan	Arzou.	Oise	Mortefontaine.
Marne	Aulnay-l'Aitre.	Oise	Moyenneville.
Seine-et-Marne.	Barbizon (commune de Chailly-en-Bière).	Oise	Moyvillers.
		Cher	Ourouer-les-Bains.
Allier	Billy.	Morbihan	Plumelec.
Loiret	Bou.	Indre	Pommiers
Oise	Bonneuil.	Côte-d'Or	Pommard.
Loiret	Charmont.	Oise	Puiseux-le-Hauberger.
Loir-et-Cher	Chitenay.		
Haute-Vienne	La Croisille.	Loiret	Rebréchien.
Seine-et-Oise	Crosnes.	Isère	Rioupéroux.
Charente-Infér.	Eguille	Oise	Romescamps.
Oise	Elincourt.	Vendée	St-Etienne-du-Bois.
Haute-Saône	Essertenne.	Cher	Saint-Just.
Isère	Feyzin.	Loir-et-Cher	Saint-Laurent-du-Bois.
Charente	Genté.		
Vaucluse	Grillon.	Charente-Infér.	St-Seurin-d'Uzet.
Savoie	Haute-Luce.	Hérault	Sauvian.
Indre-et-Loire	Hermites.	Oise	Silly-le-Long.
Loiret	Loury.	Marne	Trigny.
Vienne	Luchapt.	Deux-Sèvres	Usseau.
Loire	Maclas.	Dordogne	Vauxains.
Sarthe	Marcou.	Allier	Vieure.
Oise	Mareuil-sur-Ourcq.	Indre	Ville-sur-Jarnioux.
Seine-et-Oise	Marnes.	Côte-d'Or	Villers-la-Faye.
Côte-d'Or	Molesme.	Indre	Villiers.

Bureaux téléphoniques municipaux centres de réseaux communaux. — En vue de donner de nouvelles facilités au public, l'administration cherche à donner aux bureaux téléphoniques municipaux le double caractère de bureaux recevant et expédiant les télégrammes et de bureaux centraux de réseaux téléphoniques communaux.

Ils ont été pourvus de cabines publiques et mis en relation directe soit entre eux, soit avec les réseaux urbains voisins.

Les particuliers peuvent y être reliés par des fils spéciaux, ils peuvent à la fois recevoir et transmettre leurs télégrammes sans quitter leur domicile ; ils peuvent encore converser de leur domicile par les circuits urbains et interurbains auxquels ils sont reliés. Le tarif appliqué à l'échange des conversations est le tarif ordinaire des circuits interurbains.

Ce nouveau service est susceptible d'une grande extension et il commence seulement à être appliqué. C'est ainsi que le bureau téléphonique municipal de Bléville relié au Havre a été muni d'une cabine publique qui permet de communiquer verbalement avec tous les abonnés du réseau du Havre et même de Rouen, Paris, etc.

Les bureaux de cette catégorie sont :

Bléville, relié au Havre;
Loury, relié à Orléans ;
Liessies, relié à Fourmies;
Molinet, relié à Digoin;
Saint-Agnan-en-Vercors, relié à la Chapelle-en-Vercors;
Saint-Martin-en-Vercors, relié à la Chapelle-en-Vercors ;
Soisy-sous-Montmorency, relié à Montmorency.

THÉORIE

D'UN

CONDENSATEUR INTERCALÉ DANS LE CIRCUIT SECONDAIRE

D'UN TRANSFORMATEUR (*)

Si l'on intercale, dans un courant alternatif, un transformateur dont le circuit secondaire contient un condensateur, les phénomènes qui s'y produisent sont exprimés par le système suivant :

$$(1)\quad \begin{cases} \text{Primaire} \ldots & E_0 \sin \omega t - L\dfrac{di}{dt} - M\dfrac{di'}{dt} - Ri = 0. \\ \text{Secondaire} \ldots & M\dfrac{di}{dt} - l\dfrac{di'}{dt} - e - ri = 0. \\ \text{Condensateur.} & k\dfrac{de}{dt} - i' = 0. \end{cases}$$

où $E = E_0 \sin \omega t$ est la force électromotrice aux bornes de la source électrique, que nous supposons sinusoïdale ; $L = \Lambda + \lambda$ le coefficient de self-induction total du circuit primaire, se composant de Λ, le coefficient de l'enroulement primaire du transformateur, et de λ, celui du reste du circuit ; l le coefficient du secondaire ; M le coefficient d'induction mutuelle ; R, i et r, i' la résistance réelle et l'intensité du courant dans le primaire et dans le secondaire ; K la capacité du condensateur dont e est la différence de potentiel

(*) Note de M. Désiré Korda, *Comptes rendus,* 16 août 1892.

aux bornes ; T est la durée d'une période et $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

On peut réduire le système (1) à l'équation linéaire suivante :

$$(2) \quad \begin{cases} (M^2 + Ll)\frac{d^3i}{dt^3} + (Rl + rL)\frac{d^2i}{dt^2} + \left(Rr + \frac{L}{K}\right)\frac{di}{dt} + \frac{R}{K}i \\ \quad = E_0\left(r\omega\cos\omega t - \frac{Kl\omega^2 - 1}{K}\sin\omega t\right). \end{cases}$$

Quels que soient les coefficients de cette équation, lorsque le régime régulier est établi, on a :

$$i = I = \sum_1^3 e^{-\delta_1 t}\int \frac{(\delta_3 - \delta_2)e^{\delta_1 t}E_0\left(r\omega\cos\omega t - \frac{Kl\omega^2 - 1}{K}\sin\omega t\right)}{\delta_2\delta_3^2 - \delta_3\delta_2^2 + \delta_3\delta_1^2 - \delta_1\delta_3^2 + \delta_1\delta_2^2 - \delta_2\delta_1^2}dt$$

$$= \frac{\frac{1}{K}E_0(P\sin\omega t + Q\cos\omega t)}{\delta_2\delta_3^2 - \delta_3\delta_2^2 + \delta_3\delta_1^2 - \delta_1\delta_3^2 + \delta_1\delta_2^2 - \delta_2\delta_1^2}$$

$$= \frac{\frac{I}{K}E_0\sqrt{P^2 + Q^2}\sin(\omega t - \varphi)}{\delta_1(\delta_2 + \delta_3)(\delta_2 - \delta_3) + \delta_2(\delta_1 + \delta_3)(\delta_1 - \delta_3) + \delta_3(\delta_1 + \delta_2)(\delta_1 - \delta_2)},$$

où $\tang \varphi = -\frac{Q}{P}$ détermine la différence de phase entre le courant et la force électromotrice de la source.

L'inspection de cette formule indique tout de suite que I ne peut être que sinusoïdal, dès que E l'est également. Au lieu de calculer les racines δ, nous arrivons donc plus rapidement à l'expression finale de I, en posant

$$(3) \qquad I = A\sin\omega t + B\cos\omega t = I_0\sin(\omega t - \varphi),$$

et si ε et I' désignent les valeurs de e et i' une fois le régime atteint, nous pouvons poser, d'une façon analogue :

$$\varepsilon = C\sin\omega t + I\cos\omega t = \varepsilon_0\sin(\omega t - \chi)$$

et

$$I' = A'\sin\omega t + B'\cos\omega t = I'_0\sin(\omega t - \psi).$$

En substituant ces valeurs de I et ε dans les deux premières équations de (1), après en avoir éliminé i' au moyen de la troisième, la condition que ces équations soient satisfaites, pour une époque quelconque, par ces valeurs, donne quatre équations pour A, B, C et II dont le déterminant, en général, ne s'évanouit pas. Nous obtenons ainsi la valeur de ces constantes, et nous avons finalement

$$(4)\ \begin{cases} I_0 = \sqrt{A^2 + R^2} = E_0 \sqrt{\dfrac{r^2k^2\omega^2 + (lk\omega^2 - 1)^2}{[(M^2\omega^2 = Rr)K\omega + L\omega(lk\omega^2 - 1)]^2 + [Lrk\omega^2 + R(lk\omega^2 - 1)]^2}} \\ = \dfrac{E_0}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2 - \dfrac{M^2\omega^2}{r}\left(2R - \dfrac{M^2\omega^2}{r} - 2\dfrac{L}{r}\dfrac{kl\omega^2 - 1}{k}\right)\left[1 + \dfrac{1}{1 + \left(\dfrac{rk\omega}{kl\omega^2 - 1}\right)^2}\right]}}. \end{cases}$$

Le dénominateur exprime la valeur de la résistance apparente, dans le cas d'un condensateur agissant par l'intermédiaire d'un transformateur. L'angle du retard de phase du courant primaire est donné par la formule

$$(5)\quad \operatorname{tang}\varphi = -\frac{B}{A} = \frac{[(M^2 + Ll)l\omega^5 + Lr^2\omega^3]k^2 - (M^2 + 2Ll)\omega^3 k + L\omega}{[(Rl^2 - M^2 r)\omega^4 + Rr^2\omega^2]k^2 - 2Rl\omega^2 k + R}.$$

On tire des formules analogues pour ε, ainsi que $I' = K\omega\varepsilon$, notamment

$$(6)\ \begin{cases} \varepsilon_0 = \dfrac{E_0 M\omega}{\sqrt{[(M^2\omega^2 - Rr)k\omega + L\omega(lk\omega^2 - 1)]^2 + [Lrk\omega^2 + R(lk\omega^2 - 1)]^2}}, \\ I'_0 = k\omega\varepsilon_0 = \dfrac{M I_0 \omega}{\sqrt{r^2 + \omega^2\left(l - \dfrac{1}{k\omega^2}\right)^2}}, \\ \operatorname{tang}\chi = -\dfrac{D}{C} = \dfrac{(Rl + Lr)\omega^2 k - R}{L\omega[(M^2 + Ll)\omega^3 - Rr\omega^1 k}, \\ \operatorname{tang}\psi = -\cot\chi. \end{cases}$$

Ces formules contiennent la solution générale du problème. Cherchons maintenant la valeur de la capacité pour laquelle I_0 est celle qui correspond à la loi

d'Ohm. On trouve une équation du deuxième degré dont les racines sont :

$$(7) \quad k = L \frac{(M^2 + Ll)\omega \pm \sqrt{(2RM^2 - L^2 r)r}}{(M^2 + Ll)^2\omega^3 - (2RM^2 - L^2 r)r\omega} = \alpha \frac{+}{\pm} \beta.$$

Si

$$(8) \qquad R > \frac{L^2}{M^2}\frac{r}{2},$$

il existe une valeur réelle de la capacité qui rétablit pour l'amplitude du courant la loi d'Ohm; il en existe même deux.

Pour

$$(9) \qquad R = \frac{L^2}{M^2}\frac{r}{2},$$

ces deux valeurs coïncident. En portant sur l'axe des abscisses les capacités, et sur l'axe des ordonnées le carré de la résistance apparente correspondante, on trouve, suivant (4), que leur relation est représentée par une parabole dont l'axe est parallèle à l'axe des ordonnées. En effet, comme l'indique (4), chaque valeur de la résistance apparente peut être réalisée par deux valeurs différentes de la capacité. Dans le cas (8), le sommet de cette parabole a pour tangente la droite $\gamma = R^2$. Pour $R < \frac{L^2}{M^2}\frac{r}{2}$ (9), la parabole n'a aucun point commun avec cette droite; dans ce cas, aucune capacité ne peut rétablir la loi d'Ohm. Pour (8), la parabole va même au-dessous de la droite en question; on trouve donc ce fait paradoxal, qu'en choisissant la valeur de la capacité entre $\alpha + \beta$ et $\alpha - \beta$, on obtient une *résistance apparente plus petite que la résistance ohmique*. En particulier, pour $K = \alpha$, la valeur de la résistance apparente est $\sqrt{R^2 - \beta^2\omega^2}$; seulement, dans ce cas, la tangente du retard de phase (5) est de l'ordre

de grandeur de ω. En pratique, ω étant grand (pour 40 périodes par seconde $\omega = 251,2$), le retard de phase est voisin de un quart d'onde et β a une valeur très petite par rapport à α (quelques centimètres, en face de quelques microfarads).

Si l'on choisit $R = \frac{L^2}{M^2}\frac{r}{2}$, on a (7)

$$K = \frac{1}{\omega^2\left(l + \frac{M^2}{L}\right)}. \tag{10}$$

Si l'on avait intercalé une capacité K′ dans le primaire pour équilibrer la self-induction L, on aurait dû faire $K' = \frac{1}{\omega^2 L}$. Dans le cas qui nous occupe, la capacité est donc réduite *plus* que dans le rapport du carré des nombres des spires du transformateur.

LA

MACHINE ÉLECTRIQUE A RECENSEMENT (*)

I

L'instrument du recensement, c'est la fiche individuelle. On assemble ces fiches par paquets distincts suivant le sexe, l'âge, la profession, la nationalité, en un mot suivant les diverses définitions qu'elles contiennent; on compte les fiches de chaque paquet et l'on inscrit les totaux, qui constituent les éléments du relevé pour la commune, la province, l'État.

Ces fiches peuvent s'obtenir de diverses façons.

En France, on les demande au recensé lui-même. Chaque famille remplit les fiches de ses membres et les relie par une feuille de ménage, sorte de bordereau qui présente la synthèse de la famille, de sa composition, du métier qu'elle exerce. Pour certains détails, comme la profession, la feuille de ménage comporte une précision bien plus grande que les fiches individuelles et éclaire d'une vive lumière les réponses parfois un peu obscures de chacun des membres de la famille.

En Italie, le recensé ne fournit que les feuilles de

(*) Communication faite à la Société de statistique dans sa séance du 20 janvier 1892, *Journal de la Société de statistique de Paris.*

ménage et ce sont les municipalités qui en extraient les fiches envoyées à la direction centrale, où elles sont dépouillées.

Aux États-Unis et en Autriche, ce sont les feuilles de ménage elles-mêmes qui vont directement de la commune au centre, sans avoir subi aucune manipulation préalable. C'est au centre qu'on se charge de préparer, puis de dépouiller les fiches.

Quand il s'agit d'effectuer cette préparation et ce classement pour plus de 60 millions de têtes, on comprend l'immensité du labeur. L'idée de le simplifier par un procédé industriel devait surgir naturellement en Amérique, dans ce pays qui voit chaque jour la mécanique accomplir tant de merveilles. Ne pourrait-on pas trouver une machine qui se chargerait de préparer et de compter ces millions de fiches ? Le bureau chargé de présider au recensement de 1890 ouvrit un concours sur ce thème et reçut les offres de trois concurrents : MM. Pidgin, Hunt et Hollerith.

Le jury du concours soumit ces concurrents à une épreuve pratique : chacun d'eux eut à trancrire sur des fiches les données concernant 10,491 habitants de Saint-Louis et à les répartir en 13 classes.

Pour cette double opération, le système Hollerith ne demanda que 77 heures 55 minutes, tandis que ses deux concurrents prirent 155 et 199 heures. C'est donc la machine Hollerith qui a été reconnue la meilleure et qui a été adoptée pour le recensement américain.

Le jury a calculé que, pour 65 millions de fiches, on emploierait, avec cette méthode, environ 65.000 journées de travail à la préparation des fiches et 5.000 journées à chacune de leurs classifications, soit

30.000 journées aux 6 classifications du recensement américain, ou en tout 95.000 journées. Les autres méthodes auraient demandé 87.000 journées pour la première opération et 240.000 journées pour la seconde, soit en tout 327.000 journées, d'où résultait, au profit de la machine Hollerith, à raison de 2 dollars et demi par jour, une économie de 579.165 dollars ou de plus de 3 millions (3.011.658 fr.).

Mais il faut déduire de cette économie les frais de la machine et des fiches en carton qu'elle exige pour fonctionner.

Le contrat passé avec l'inventeur portait sur 56 machines, qu'il s'engageait à fournir moyennant un loyer annuel de 1.000 dollars ou de 5.200 francs. Pour un service estimé à 2 ans, c'est une dépense d'environ 600.000 francs. Si l'on ajoute une autre dépense de 150.000 francs pour la plus-value des cartes, l'économie définitive se réduit à 2.250.000 francs.

Elle eût été beaucoup moindre si le bureau central avait, comme en France, disposé de fiches individuelles déjà préparées ailleurs, au lieu d'avoir à les extraire des feuilles de ménage. Dans ce cas, d'après les calculs faits, l'économie serait tombée à 1 million de francs.

C'est encore un résultat très satisfaisant et qui justifie la décision prise pour le census américain.

Frappé de ce résultat et aux prises avec un problème posé dans les mêmes termes, le bureau central de la statistique d'Autriche a eu l'idée de recourir à la même solution. Il s'est adressé à la maison de construction de Vienne, Otto Schäffer, qui, après s'être mise en règle vis-à-vis de M. Hollerith, a construit des machines électriques, basées sur le principe de

l'appareil américain, mais dotées de perfectionnements qui l'adaptent aux convenances du recensement autrichien. Ce sont ces machines que nous avons vu fonctionner dans un bâtiment spécialement aménagé Arenberg gasse 2, et dont MM. von Inama Sternegg et le Dr Rauchberg nous ont fait les honneurs avec une bonne grâce et une clarté parfaites.

Je viens vous prier à mon tour de me suivre dans ce bâtiment pour y voir le système à l'œuvre.

II

Comme je l'ai déjà dit, le census autrichien est basé sur la feuille de ménage, directement envoyée au centre. C'est de cette feuille qu'il va falloir dégager les fiches individuelles et toutes les combinaisons statistiques auxquelles elles se prêtent.

Or ces combinaisons sont innombrables. On est beaucoup plus indiscret en Autriche qu'en France ; on y pose beaucoup de questions qui feraient chez nous crier à l'inquisition ou du moins à l'intolérance statistique. On demande, par exemple, la religion du recensé, ses infirmités (*), son degré de culture intellectuelle, ... sans être accusé de porter atteinte à sa liberté de conscience, à ses secrets de famille et à sa dignité.

Telles sont les données que contient la feuille de ménage et qu'il s'agit de reporter sur les fiches individuelles afférentes à chacun des membres de la famille.

C'est cette fiche individuelle que doit manipuler la

(*) Sourd-muet, aveugle, imbécile, fou, crétin.

machine. Pour qu'elle se prête à cet usage sans se plier ni se froisser, il faut qu'elle soit de petit format et en carton assez fort. En outre, il faut que chaque donnée soit inscrite toujours à la même place pour que la machine sache la retrouver et la compter.

La machine ne sait pas lire des lettres, mais elle peut lire et compter des trous. Notre Jacquard nous a révélé cette propriété et en a tiré un merveilleux parti pour le tissage, en faisant lire au métier des cartons perforés, dont les trous correspondent au dessin du tissu. Utilisant après lui la même idée, M. Hollerith se sert aussi de trous qu'il donne à lire à sa machine et dont chacun correspond à une signification déterminée.

Le problème consistait donc à combiner sur une fiche de petites dimensions les 240 cases nécessaires pour recevoir toutes les inscriptions possibles, chacune de ces inscriptions étant figurée par un signe conventionnel très bref qui en tînt lieu. C'est une véritable notation algébrique ou chimique, dans laquelle une lettre remplace un nom : *m*, signifie masculin; *w*, féminin; *dt*, allemand; *rk*, romain-catholique; *gk*, grec-catholique; *sk*, serbe-croate; A, ouvrier; A*n*, illettré; *cr*, crétin; *gs*, divorcé; et ainsi de suite (*).

Je reproduis ci-dessous en vraie grandeur la carte adoptée en Autriche, et je donne à la suite la traduction de ses signes conventionnels.

(*) En disposant d'un alphabet de lettres italiques et d'un alphabet de lettres capitales, et en associant ces lettres de diverses façons, on arrive, rien qu'avec des groupes d'une et de deux lettres, à 2.550 combinaisons, c'est-à-dire à dix fois plus qu'il n'en fallait pour les compartiments de la fiche.

I	Fm	s.P	m.	. .	. .	AG	AB AL	In Al	AG	AB AL	In Al	GG GB
II	Am	Hb	w.	0 5	0 5	0	0 5	0 5	0	0 5	0 5	. .
III	Bg	EA	.	1 6	1 6	1	1 6	1 6	1	1 6	1 6	. .
IV	Dn	KI	St	2 7	2 7	2	2 7	2 7	2	2 7	2 7	. .
V	l.G	Sp	Ks	3 8	3 8	3	3 8	3 8	3	3 8	3 8	. .
VI	g G	Vs	s.A	4 9	4 9	.	4 9	4 9	.	4 9	4 9	. .

.	.	.	.	1	1 5	1 5	1	1 5	1 5	dt bm	ld	rk go AC
.	0	.	HA	2	2 6	2 6	2	2 6	2 6	pl rt	vh	gk ao HC
ZA	Bl	l.s	HM	3	3 7	3 7	3	3 7	3 7	sl sk	w	ak Mn an
DA	Tb	l.	GA	4	4 8	4 8	4	4 8	4 8	it rm	gs	alt un Hh
.	Ir	An	GM	5	S. B.	A. T.	5	S B	A T	mg fr	gt	is lp sB
.	Cr	.	.	.	. .	. 0	D	FS FB	FA FT	. .	.	cl mh .

Catégorie des communes.

I.	— Habitant d'une commune	de moins de 500 âmes.
II.	— — —	de 500 à 1.000 âmes.
III.	— — —	de 2.000 à 5.000 —
IV.	— — —	de 5 000 à 10.000 —
V.	— — —	de 10.000 à 20.000 —
VI.	— — —	de plus de 20.000 —

Situation dans la famille et sexe.

Fm	Membre de la famille.
Am	Sous-locataire.
Bg	Sous-locataire pour un lit.
Dn	Domestique.
l.G	Serviteur agricole.
g.G	Ouvrier industriel.
s.P	Autres personnes vivant ensemble.
Hb	Voyageur dans un hôtel ou habitant d'un garni.
EA	Élève dans une maison d'enseignement.
Kl	Habitant d'un couvent.
Sp	— d'un hôpital.
Ys	— d'un hospice.
St	— d'une prison.
Ks	— d'une caserne.
s.A	— d'un autre établissement collectif.
m	Sexe masculin.
w	Sexe féminin.

Année de la naissance.

0-9	Dizaines de l'année.
0-9	Unités de l'année (*).

Lieu de naissance.

AG	Né dans la commune du recensement.
AB	— le district —
AL	— la province —
In	— l'État.
Al	Né à l'étranger.
0-3	Centaines } du numéro d'ordre du district ou du pays de naissance (**).
0-9	Dizaines
0-9	Unités

Résidence (Zustandigkeit).

AG; — AB; — AL; — In; — Al; — 0-3; — 0-9; — 0-9. (Même signification conventionnelle que pour le lieu de naissance.)

GG	Résidence dans la commune de naissance.
GB	Résidence dans le district.

Religion (***).

rk	Romain-catholique.
un	unitaire.

(*) Pour les recensés nés en 1890, on se borne à percer le zéro de droite. Pour les recensés très rares nés à la fin du siècle dernier, par exemple en 1797, on fore le 9 à la colonne des dizaines et le 7 à celle des unités.

(**) Chaque district dans le royaume et chaque pays étranger sont désignés par un numéro d'ordre qui appartient à une série de 0 à 399. Trois trous correspondant à trois chiffres (centaines, dizaines, unités) suffisent donc à préciser cette définition géographique. La même solution est adoptée pour les désignations analogues, telles que les professions principales et accessoires dont chacune est représentée par son numéro d'ordre inscrit en regard de sa désignation dans un catalogue On transforme ainsi les noms en nombre, puis en chiffres, enfin en trous que lira la machine.

(***) La partie supérieure de la fiche se lit de gauche à droite; la partie inférieure, de droite à gauche.

gk Grec-catholique.
ak Arménien-catholique.
alt Vieux-catholique.
is Israélite.
cl Sans confession religieuse.
go Grec oriental.
ao Arménien-oriental.
Mn Memnoniste (?) (*).
lp Lippovanien (?) (*).
mh Mahométan.
AC Protestant (confession d'Augsbourg).
HC — (confession suisse).
an Anglican.
Hh *Herrnhüter* (?) (*).
sB Autres confessions.

État civil.

ld Célibataire.
vh Marié.
w Veuf.
gs Séparé de corps.
gt Divorcé.

Langue parlée.

dt Allemand.
pl Polonais.
sl Slovène.
it Italien-Latin.
mg Hongrois.
bm Bohémien-Morave-Slovaque.
rt Rutène.
sk Serbe-Croate.
rm Roumain.
fr Étrangère.

Profession principale.

1 à 5 Classe (**).
1 à 8 Groupe (**).
1 à 8 Titre (**).
S Indépendant.
B Employé.
A Ouvrier.
T Journalier.
D Domestique.
FS Membre de la famille d'un indépendant.
FB Membre de la famille d'un employé.
FA — — d'un ouvrier.
FT — — d'un journalier

Profession accessoire.

1 à 5 Classe (**).
1 à 8 Groupe (**).
1 à 8 Titre (**).
S Indépendant.
B Employé.
A Ouvrier.
T Journalier.
O Sans profession accessoire.

Possession d'immeubles.

HA Propriétaire unique d'une maison.
HM Copropriétaire d'une maison.
GA Propriétaire unique d'un terrain.
GM Copropriétaire d'un terrain.

Degré d'instruction.

Is Sait lire et écrire.
I Sait seulement lire.
An Ne sait ni lire, ni écrire.

Infirmités.

O Sans infirmités.
Bl Aveugle.
Tb Sourd-muet.
Ir Fou.
Cr Crétin.

Présence.

ZA Présence accidentelle.
DA Demeure permanente.

(*) Nous traduisons littéralement, mais nous confessons notre ignorance au sujet des religions « Lippovanienne », « Memnoniste » et « *Herrnhüter* ».

(**) Grâce à la combinaison de ces séries, on dispose de 5 classes, de 8 groupes et de 8 titres, ce qui donne un total de 320 professions distinctes, dont chacune est ainsi désignée par trois nombres, c'est-à-dire par trois trous sur la fiche.

En outre, la fiche reçoit au composteur deux nombres qui ne doivent pas être perforés, savoir : à droite, un numéro d'ordre qui désigne la commune d'après son rang dans un dictionnaire alphabétique; à gauche, un numéro matricule désignant le recensé dans la commune. Les fiches sont classées par paquets communaux.

Ces fiches étant ainsi disposées et imprimées, il ne reste plus qu'à y percer des trous correspondant aux données qui définissent chacun des individus recensés.

Pour faciliter cette transcription, on commence à traduire en chiffres conventionnels sur la feuille de ménage les indications latérales qu'elle contient. Cette traduction est contrôlée par d'autres employés, chargés de relever et de redresser les erreurs des traducteurs.

Quand la feuille de ménage a été vérifiée, on la livre à d'autres employés préposés à la perforation des cartes. Cette perforation s'opère à l'aide d'une sorte de pantographe, qui porte à l'une de ses articulations un style et à l'autre un poinçon. L'employé promène le style et l'appuie successivement sur ceux des compartiments d'une carte type qui sont en corrélations avec les données de la fiche individuelle; en même temps, le poinçon s'arrête sur chacun des compartiments homologues de la carte en préparation et y perce un trou de 5 millimètres. Tout cela s'effectue, au bout d'une certaine période d'apprentissage, en moins de temps qu'on n'en met à le dire.

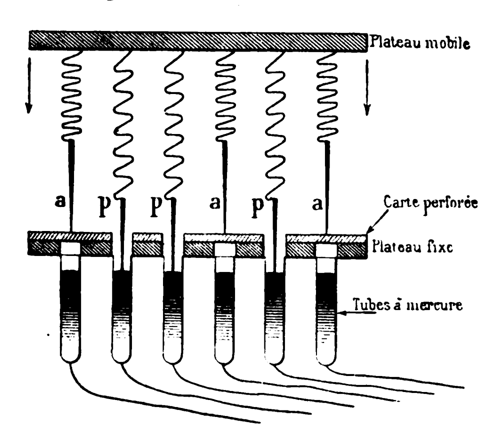
La carte étant ainsi perforée, les trous dont elle est percée définissent exactement l'individu auquel s'applique la fiche.

Toutes les réponses du recensé se trouvant trans-

crites dans une langue précise que comprend la machine, on peut maintenant livrer les cartes à cet appareil, qui va se charger, l'électricité aidant, de les classer, de les dénombrer, de les manipuler en tous sens au gré du statisticien.

III

Qu'on se figure un plateau mobile et un plateau fixe : le plateau fixe, percé d'autant de trous qu'il y a de compartiments dans la carte, c'est-à-dire de 240 trous exactement placés au centre de ces compartiments ; sous le plateau et correspondant à l'axe de chacun de ces trous, un tube vertical à moitié rempli de mercure ; enfin tous ces tubes, mis en relation par des circuits électriques avec un nombre égal de compteurs disposés dans un grand tableau.



Quant au plateau mobile, il comprend, en regard des trous du plateau fixe, de petits ressorts à boudin terminés par une aiguille.

On place la carte perforée sur le plateau fixe, et l'on abaisse le plateau mobile. Partout où les aiguilles rencontreront le carton plein, comme en *aa*, elles seront refoulées contre le plateau supérieur en comprimant leur ressort. Partout, au contraire, où la carte est perforée, comme en *pp*, l'aiguille, après avoir traversé à la fois la carte et le plateau, s'enfonce dans le mercure du tube inférieur et elle établit ainsi un courant qui fait marcher d'un cran l'aiguille du compteur correspondant à ce tube.

Un seul coup de balancier suffit pour enregistrer toutes les données de la fiche et les additionner sur leurs compteurs respectifs.

Nous ne sommes pas encore au bout des combinaisons que permet le système.

Si l'on veut trier toutes les cartes présentant la même donnée, par exemple, celles de tous les illettrés, pour les soumettre à une analyse spéciale, on n'a pas à en faire péniblement le triage à la main. Ici encore l'électricité va en simplifier l'opération.

A côté de la machine à compter se trouve un casier à boîtes profondes (*sorting box*), dont chacune est fermée par un couvercle léger. Ce couvercle est mis en communication électrique avec le tube, qui, sur le plateau fixe, correspond aux illettrés, et se soulève automatiquement quand l'aiguille de la machine à compter s'engage dans ce tube à travers un trou de la carte. L'employé voit alors tout son casier fermé, sauf une boîte largement ouverte, dans laquelle il n'a qu'à placer la carte ainsi triée automatiquement.

On peut compliquer le triage, en le faisant porter, non plus sur une donnée simple comme la précédente, mais sur une combinaison complexe de plusieurs

données. Par exemple, veut-on agir sur toutes les cartes des célibataires du sexe masculin, exerçant la profession de charpentier et appartenant à la religion catholique? Le *sorting box* s'y prête parfaitement. Il suffit pour cela de commander électriquement le couvercle d'une des boîtes, non plus par un seul tube, comme tout à l'heure, mais par l'ensemble des tubes qui définissent la catégorie qu'on veut isoler pour l'étudier à part. Le couvercle ne se soulèvera que pour les cartes présentant tous les trous qui caractérisent cette combinaison.

Telle est la machine de recensement, autant qu'on peut la faire comprendre par une description sommaire, sans dessin précis et à l'aide d'un grossier schéma. Elle est certes très ingénieuse et constitue, même après les arithmomètres, les planimètres, les intégromètres, un progrès remarquable dans l'application de la mécanique à la statistique. Néanmoins, il ne semble pas qu'elle ait dit son dernier mot. En effet, tous les déplacements des cartes, tant pour les livrer au compteur, au *sorting box*, que pour les empiler, s'effectuent à la main. Il suffit d'évoquer par la pensée les merveilles d'ingéniosité des machines à fabriquer les enveloppes et les cigarettes, à plier les tablettes de chocolat... pour être convaincu que la machine à recenser pourra et devra recevoir dans ce sens de notables améliorations. Mais il ne faut pas oublier qu'elle date d'hier seulement. Aussi, sans préjudice des progrès certains que l'avenir lui réserve, peut-on déclarer à bon droit qu'elle mérite dès aujourd'hui l'attention et la reconnaissance des statisticiens.

IV

Maintenant que j'ai essayé de vous expliquer la carte et la machine, vous pouvez aisément vous imaginer l'ensemble de l'opération.

Toutes les feuilles de ménage, directement parvenues au bureau central, sont confiées à des employés spéciaux qui les complètent par leur traduction en signes conventionnels. Après un contrôle de ce travail, elles passent aux employés qui perforent les cartes, puis à d'autres qui contrôlent cette perforation.

Les cartes perforées sont livrées à la machine et au *sorting box*, qui les comptent et les appareillent par séries.

Une même carte subit les manipulations successives que lui assigne le chef de service.

Ainsi l'on peut d'abord : avec les compteurs, dénombrer les recensés d'après le lieu de naissance, la situation de propriétaire ou non, les infirmités; puis, avec le *sorting box*, constituer des paquets correspondant aux deux sexes et aux dizaines d'âge. Chacun de ces paquets peut lui-même être soumis aux compteurs, qui donneront sa décomposition numérique au point de vue de l'état civil, de la culture intellectuelle et de la situation d'ouvriers et de patrons. Ils peuvent ensuite être classés par le *sorting box* en divers paquets par profession.

Enfin, dans un dernier passage, chacun de ces paquets déjà classés par âge, par sexe et par profession, peut l'être par état civil, par situation d'ouvriers, de patrons ou de domestiques.

On voit que le directeur du recensement dispose li-

brement de ses combinaisons, qu'il peut varier à l'infini. Il est maître d'interroger ses cartes sous tel aspect que bon lui semble et de grouper leurs réponses à son gré.

Ce système comporte d'ailleurs des vérifications précises et qui permettent de contrôler à chaque instant l'exactitude des résultats :

1° A chaque passage de la carte sous les mâchoires de la machine, un timbre avertit par sa sonnerie l'employé que l'enregistrement a eu lieu ;

2° Un compteur spécial donne le total des cartes manipulées par la machine, et ce total doit toujours être égal à celui des totaux inscrits aux compteurs partiels ;

3° Si, par erreur, on plaçait sur le plateau fixe une carte non perforée, la machine refuserait l'enregistrement et le timbre préviendrait l'employé par son mutisme ;

4° Tous les cartons d'un même paquet fournis par une boîte du *sorting box* doivent présenter au moins un trou identique, et, par suite, être enfilés par une tige métallique de 3 à 4 millimètres. Si une carte s'est égarée dans ce paquet, cette épreuve la dénonce immédiatement.

Dans le recensement autrichien, tel que nous l'avons vu opérer, chaque carte repasse en moyenne quatre fois sous la machine, ce qui, pour 24 millions de cartes, représente 96 millions de passages.

Le personnel est formé de 380 employés, dont les uns, les contrôleurs, sont payés à la journée, les autres l'étant à la tâche, à raison de millier de cartes manipulées.

Les employés arrivent en moyenne à percer une cen-

taine de cartes à l'heure et à en compter à la machine un millier. Mais cette vitesse est doublée pour les opérateurs très habiles et on espère qu'avec le temps la moyenne pourra être augmentée d'un tiers à moitié.

Les erreurs qui atteignaient au début jusqu'à 3 p. 100 sont tombées à 1 p. 100. Quand elles dépassent cette limite, les employés reçoivent d'abord des avertissements ; si leur rendement ne s'améliore pas, ils sont renvoyés.

Le service est actuellement installé, mais à titre provisoire, dans un bâtiment confortable, où il est dirigé avec beaucoup de distinction par M. von Inama-Sternegg et son savant collaborateur, M. le Dr Rauchberg. Mais il doit être définitivement aménagé dans un superbe édifice dont les projets sont approuvés et vont être incessamment mis à exécution. En Autriche comme en Allemagne et en Italie, la statistique est appréciée à sa valeur et traitée avec l'ampleur nécessaire à sa pleine efficacité. On la stérilise en partie en lui marchandant les dotations ; mais elle rend avec usure en services éclatants les sacrifices qu'on fait pour elle.

V

Il serait téméraire et prématuré, avant que l'expérience se soit prolongée davantage, de vouloir émettre dès aujourd'hui un jugement définitif sur cet outillage mécanique appliqué aux recensements.

Il présente l'incontestable avantage d'accélérer les opérations et de se prêter à d'innombrables combinaisons, dont on n'aurait même pas eu l'idée dans le système purement manuel. En outre, il permet la sup-

pression des fiches individuelles, rédigées soit par les recensés eux-mêmes, soit par les municipalités.

En regard de ces avantages considérables, il faut placer la dépense de ces machines, qui coûtent de 25.000 fr. à 30.000 francs comme achat et 5.000 fr. comme loyer annuel. Pour un dépouillement qui doit durer au plus deux ans, on doit compter sur une machine environ par deux millions d'habitants.

Ce système a en outre le tort de donner plus de renseignements qu'on n'en peut publier. Si l'on tenait à les utiliser tous, un seul recensement fournirait de quoi remplir une grande bibliothèque. On est donc obligé d'en garder la plus grande partie à l'état de documents manuscrits et de se borner à publier les chiffres globaux ou récapitulatifs afférents à de vastes circonscriptions, sinon même au pays tout entier (*).

Enfin,—et cette considération est à son actif,—une telle organisation n'est possible qu'avec la centralisation du dépouillement. Elle ne pourrait donc s'importer chez nous que moyennant une transformation préalable de notre système. Basé, comme on le sait, sur la préparation locale et successive des relevés partiels, d'abord dans la commune, puis au chef-lieu du département, ce système est condamné par l'expérience et les pays où la statistique est en honneur l'ont tour à tour abandonné. L'éminent directeur des affaires départementales et communales de France, M. Bouffet, est venu lui-même déclarer au Congrès de Vienne, — il est vrai en son nom propre, mais avec l'autorité qui s'attache à sa situation et à sa personne, — que notre

(*) Certaines grandes villes se sont abouchées avec le bureau central et ont obtenu la publication de leur recensement de détail, sous réserve de contribuer à la dépense.

système était défectueux, qu'il mettait en jeu trop de concours inexpérimentés et hétérogènes, et que mieux valait livrer immédiatement les données élémentaires et primordiales au centre, en les puisant directement à leur source, plutôt que de les exposer aux chances périlleuses des manipulations intermédiaires qu'elles subissent aujourd'hui dans des bureaux mal outillés au point de vue statistique, trop souvent sans compétence, et toujours sans unité de vues.

Si le succès de la machine que nous venons de décrire imposait le recensement mécanique à tous les pays, elle nous doterait par surcroît d'une organisation plus forte et plus centralisée de la statistique. Ce serait un nouveau service qu'elle nous rendrait et ce nous est une raison de plus pour suivre avec un vif intérêt l'application de cet ingénieux système par nos amis des États-Unis et de l'Autriche.

E. Cheysson.
Ancien président de la Société de statistique.
Membre de l'Institut international de statistique.

LE CAOUTCHOUC DU HAUT-ORÉNOQUE (*)

Dans le courant de l'exploration que j'ai accomplie en 1888-1889, dans le bassin de l'Orénoque et tout le long du Rio-Negro, j'ai dû entreprendre plusieurs travaux de médecine et de botanique, pour remplir la mission scientifique dont m'avait honoré M. le Ministre de l'instruction publique et des beaux-arts. J'ai été amené à faire une étude approfondie et complète de l'une des essences botaniques les plus répandues dans ces contrées, des plus riches et des plus intéressantes pour la science et pour l'industrie : je veux parler des caoutchoucs.

Le caoutchouc du bassin de l'Orénoque, connu sous le nom de caoutchouc du Ciudad-Bolivar, cette ville ayant été jusqu'à ces dernières années le grand marché de ce caoutchouc, est exactement le même que celui du bassin de l'Amazone, appelé caoutchouc du Para : il sort du même arbre et est produit d'une manière analogue, sinon absolument semblable.

Tous les caoutchoucs de ces deux bassins sont des *Hevæa*, arbres appartenant à la grande famille des *Euphorbiacées*; le caoutchouc de l'Orénoque est donc un véritable *Syringa brasilensis*.

Cependant il y a plusieurs sortes d'*Hevæa* : j'ai pu jusqu'ici en établir quatre variétés dans le seul bassin

(*) *Nouvelles Archives des missions scientifiques et littéraires*, t. I, p. 178.

de l'Orénoque, toutes très voisines, et donnant une gomme analogue ; sauf une, toutefois, que l'on ne rencontre que dans le Haut-Guainia, nom du Rio-Negro supérieur.

Il est probable qu'il existe bien d'autres variétés dans le bassin de l'Amazone ; aussi me réservé-je de remettre leur description après une exploration plus complète de ce bassin.

Quoiqu'il en soit, le caoutchouc produit est partout le même, le PARA, sauf peut-être celui de Guainia, qui, lorsque la planche est fraîche, est d'un blanc un peu bleuté, un peu plus dense et un peu moins élastique ; mais quand la planche est sèche, il est impossible de la distinguer de celle du Para pur.

Ces caoutchoucs sont très différents de ceux qui nous viennent d'Afrique, et de Madagascar en particulier, généralement issus du *Ficus elastica*, qui est un figuier et non un hévé ; ils lui sont en même temps très supérieurs, le caoutchouc du Para étant de beaucoup le plus estimé du monde entier et surtout le plus cher, à cause de ses qualités diverses.

Cependant le *Ficus elastica* existe, à l'état de liane, dans l'Amazone et dans l'Orénoque, et il produit du lait ; on ne l'exploite naturellement pas dans ces régions, où les hévés sont si nombreux et si productifs.

Chose bizarre, tandis que l'hévé est appelé *Syringa* au Brésil, il est appelé *Caucho* au Vénézuéla, où c'est précisément le *Ficus* que l'on appelle *Syringa*.

Tous ces caoutchoucs, dits du Para, arrivent uniformément sur les marchés européens sous forme de gros pains pour les 1re, 2e et 3e qualités, et sous forme de pelotes (*cernamby*, *tête de nègre*), pour les résidus.

Je n'insisterai pas sur les caractères distinctifs des

Hevæa, décrits et généralement bien décrits dans tous les bons traités de botanique; je me contenterai de dire quelques mots sur leur physiologie et sur les particularités qui les font immédiatement reconnaître des indigènes.

Comme l'Euphorbe médicinale et la plupart des Euphorbiacées, le latex ou sève de l'*Hevæa* est un lait qui sera le caoutchouc commercial après préparation. Ce lait réside tout entier dans l'écorce et dans *toute* l'écorce, on pourrait croire le contraire; l'épiderme seul n'en contient pas. Naturellement il est *montant* ou *descendant*, comme toute sève, suivant l'époque de l'année; on profite de cette loi pour le recueillir par des incisions faites à l'arbre. Il est plus abondant à mesure qu'on se rapproche davantage des parties profondes du derme; donc une piqûre superficielle, pratiquée sur l'écorce, mais toutefois dépassant l'épiderme, permet de recueillir du lait. L'épiderme de l'*Hevæa* est d'un gris brun, le derme rouge de sang, épais de 2 millimètres à 1 centimètre, et beaucoup plus sur les cicatrices provenant de piqûres antérieures; le bois est blanc et assez mou. Une section faite en biais dans l'écorce avec un instrument tranchant permet de voir immédiatement sourdre de toutes petites gouttelettes de lait se détachant comme des perles sur le fond écarlate de l'écorce; ces petites gouttelettes se réunissent bientôt, forment des gouttes plus grosses, puis de petits lacs que leur poids fait s'écouler vers le sol.

L'*Hevæa* coupé repousse du pied par rejeton, et ce rejeton, devenu arbre, donne de nouveau du lait en quantité utile au bout de cinq ans, déjà gros à cette époque comme la cuisse; donc au bout de cinq ans, tout arbre coupé est redevenu exploitable.

Aspect de l'Hevæa. — Cet arbre s'élance d'un seul jet, droit et lisse, jusqu'à la hauteur de 10, 12, 15 mètres et au-dessus; les branches maîtresses commencent alors et les petites branches s'élèvent en tous sens, donnant à la cime cet aspect sphéroïdal connu sous le nom de frondaison en boule. Même sans être piqué, il se révèle à la seule inspection, car les feuilles terminales des branchioles sont toujours disposées par trois, une médiane, deux latérales, affectant la forme d'un trèfle. La feuille, entière, oblongue, à nervures alternes, ne dépasse pas en grandeur trois doigts de la main, surtout si l'arbre est haut, car la taille des feuilles est en raison inverse de celle de l'arbre. L'*Hevæa* est le seul arbre de ces forêts vierges que j'ai vu offrir cette singularité de la terminaison en trèfle; les Indiens, du reste, ne s'y trompent jamais, et, entre mille arbres, reconnaissent un caoutchouc, sans le piquer.

Le gouvernement vénézuélien interdit aux indigènes l'abatage de ces arbres. Clause puérile : voilà une immense forêt où le caoutchouc vit en famille, forêt de plus de 30 millions d'hectares, et qui exigerait des millions et des millions d'hommes pour être entièrement exploitée; une forêt qui renferme à peine trois ou quatre mille Indiens, dont on ne parvient pas à faire travailler le dixième; une forêt d'arbres qui, coupés, sont de nouveau et spontanément en rapport au bout de cinq ans! Pût-on introduire quarante, cinquante mille émigrants, ceux-ci coupant le plus d'arbres possibles, la disparition de la forêt ne serait nullement à craindre, et le travail, comme j'ai pu m'en convaincre à la suite d'expériences, serait, suivant le cas, plus abondant et plus productif.

Le gouvernement colombien, au contraire, permet sur son territoire l'abatage de ces arbres, pratiqué en grand sur le Guaviare et dans le caño de San-Martin.

Au Vénézuéla, l'Indien se contente donc de piquer l'arbre. Pour cela, il le reconnaît et le dispose de la façon suivante :

Reconnaissance des Hevæa. — Une *pica* ou sentier est pratiquée par l'Indien au moyen de la *machette* (espèce de sabre), qui sert à couper les branches, les lianes, en un mot, à déblayer. Pour la commodité de leur locomotion, les Indiens, qui voyagent toujours en canot, n'ont aucun souci de gagner la forêt en profondeur et de faire leurs picas perpendiculairement au fleuve; établis sur ses bords, ils percent leurs sentiers parallèlement au fleuve, ce qui leur permet, le cas échéant, d'atteindre par eau les deux extrémités de leur exploitation. Pratique qui doit être abandonnée dans une exploitation régulière et rationnelle; les picas doivent toutes partir du campement et rayonner en éventail vers l'intérieur de la forêt; c'est la seule façon d'atteindre la forêt dans toute son étendue, un deuxième, puis un troisième campement pouvant se trouver au centre des branches de l'éventail, relié par des picas à chacune de ces branches.

Cette première pica rectiligne permet à l'Indien de reconnaître les arbres à lait; perpendiculairement à cette pica, il en perce un grand nombre d'autres, très courtes; et une pica définitive affectant, par conséquent, une ligne très sinueuse, sera la pica d'exploitation, la seule dans laquelle passera le travailleur, pour éviter de repasser souvent au même point; il établit ensuite une deuxième pica d'exploitation qui contourne la première; il passe donc, dans chacune, deux

fois : la première fois, à l'aller, il pique; la seconde fois, au retour, il recueille le lait, ce qui lui évite une perte de temps.

Quand il veut travailler tous les jours, il a une autre double pica, qui sera en amont de sa case, si la première est en aval; en effet, le même arbre ne peut guère être piqué que tous les deux jours. Généralement paresseux, il n'en a qu'une, et se repose un jour sur deux, surtout si le premier jour il a piqué tous ses arbres.

Préparation des arbres. — Les caoutchoucs reconnus et choisis, l'Indien les racle légèrement avec son couteau pour en faire tomber les desquamations d'épiderme, les mousses et saletés de toute sorte, de façon que le lait puisse couler sur une surface propre, et la plus lisse possible.

Alors, il se munit d'un paquet de grosses lianes, de 3 centimètres de diamètre environ, et d'un autre paquet de lianes plus petites, minces comme des ficelles. A quelques centimètres du sol dans l'Orénoque, à deux pieds dans le Rio-Negro et l'Amazone, il enserre l'arbre avec une des grosses lianes en forme de V renversé, dont les deux extrémités seront plus basses de quelques doigts que le sommet de l'angle, situé sur la face postérieure de l'arbre; la liane sera ainsi déclive, ce qui permettra le facile écoulement du lait. Ses deux bouts sont attachés et maintenus avec une des petites lianes-ficelles. Puis, tout autour de la ligature qu'il vient d'établir, l'Indien coupe à petits coups de la pointe de son couteau sur lequel il frappe avec un bâton, la partie d'écorce touchant à la face supérieure de la liane, cela sur l'épaisseur de 1 centimètre, ainsi il évite entre l'arbre et la liane qui l'enserre un angle aigu où pour-

rait séjourner et stagner le lait, et il permet le maintien de la couche de glaise qu'il va y appliquer.

En effet, il prépare à l'avance et porte avec lui dans un récipient une pâte ramollie de terre glaise, avec laquelle il obstrue complètement les vides qui pourraient exister entre la liane et l'arbre ; ce lutage se sèche et le lait pourra couler sur un canal lisse, déclive et non interrompu.

Les Indiens préparent ainsi, une fois pour toutes, au début de la saison et pour toute cette saison, 150, 200, et parfois jusqu'à 800 et 1.000 individus.

Un piquet fiché en terre sert par derrière à empêcher la liane de tomber, s'écartant d'elle à angle aigu au point le plus haut où elle touche l'arbre.

On fait alors tous les deux jours, et le matin, de huit à seize piqûres sur l'arbre ainsi disposé, par série de trois à cinq superposées, obliques au grand axe de l'hévé, et distantes environ de 1 centimètre les unes des autres ; dans chaque série une goutte tombe de chaque blessure, rejoint celle de la blessure sous-jacente, et forme un petit ruisseau qui va rejoindre ceux des autres séries de saignées, le tout tombe dans la liane ; au besoin, l'Indien leur imprime la direction voulue du bout du doigt.

Un mode bien plus simple consisterait à placer au-dessous de chaque théorie de piqûres un petit godet en fer-blanc fixé à l'arbre au moyen d'un clou, par exemple. Cela dispenserait de l'emploi de la liane, qui, pour être ingénieux, n'en est pas moins primitif, long, et fait se perdre le premier lait qui coule, se coagule et sert simplement de lit aux gouttes suivantes.

L'arbre est piqué, à hauteur d'homme, sur une hauteur de 0^m,50 à 1 mètre au maximum.

Sous l'extrémité liée des deux bouts de liane, on place un petit godet fait en feuilles et destiné à recevoir le lait. Une feuille est même généralement fixée par la glaise à cette extrémité et sert de bec à l'écoulement du lait.

Au Brésil, on procède un peu autrement. Au lieu d'une seule liane liée à ses extrémités, on fixe simplement à l'arbre avec des épines dures comme des clous, deux baguettes de bois flexibles qui se rejoignent à angle aigu au-devant du godet et ne se touchent pas en arrière; le contact avec l'arbre est ainsi plus parfait, surtout si celui-ci n'est pas bien rond. Dans ce pays encore, on place ces baguettes à deux ou trois pieds de hauteur, tandis qu'au Vénézuéla la liane n'est guère qu'à quelques doigts du sol. Au lieu de godet en feuilles, le récipient est alors un morceau de bambou fermé par un nœud à une de ses extrémités et ouvert de l'autre; il est fixé par une gaule fichée en terre; le lait qu'il contient recueilli, on coiffe la gaule de ce bambou renversé, qu'on retrouve le lendemain.

Le lait met environ trois heures à s'écouler complètement; ce temps passé, il ne coule plus rien des piqûres. L'Indien repasse alors et verse dans un grand récipient qu'il porte avec lui le contenu de tous les petits récipients placés au pied des arbres. Puis il procède à la préparation du caoutchouc, c'est-à-dire au fumage du lait.

Fumage du lait, ou le caoutchouc indien. — A cet effet, il prépare de petits copeaux de bois résineux, qu'il enflamme. Au Brésil, il fait un feu de bois quelconque qu'il recouvre des coques d'une noix spéciale

provenant d'une espèce de palmier. On croit généralement que l'emploi de ces coques est indispensable, à cause de la résine qu'elles contiennent : c'est une erreur ; il faut simplement une fumée contenant beaucoup de charbon et des phénols. Ce feu est recouvert d'une sorte de calotte en terre cuite, un peu analogue au diable ou allume-feu du fourneau de nos cuisinières, percée à son extrémité supérieure d'un trou gros comme les deux poings, et souvent même muni d'un petit goulot ou cheminée ; cet appareil ressemble à une cruche ronde dont le fond manquerait. De ce trou sort la fumée nécessaire. Une palette de bois d'un seul bloc, ovoïde, munie de deux longs manches, large de 7 à 10 centimètres et épaisse de 1/2 centimètre, tourne au-dessus du goulot ; le bout de l'un des manches est dans une des mains de l'opérateur qui le fait tourner, tandis que l'autre manche, situé sur le même plan horizontal, repose sur la fourche de deux bâtons de bois, fixés en terre en forme de X du côté opposé. Avec sa main restée libre, l'homme puise du lait dans le récipient qui le contient au moyen d'une petite calebasse et le fait lentement couler et se répandre sur la palette en nappe mince ; la palette tourne au milieu de la fumée épaisse, le lait s'en imprègne, y puise la fumée antiseptique et la chaleur suffisante pour qu'il perde son excès d'eau, c'est-à-dire pour qu'il se coagule sur la palette en couches successives. Accroupi ainsi, l'homme a tout l'air de tourner une broche et d'arroser un rôti.

Il met une bonne demi-heure à coaguler un litre de lait ; cette opération est donc plus longue à la fois que le piquage des arbres et la collecte du lait. Il a soin, s'il veut faire un beau travail, d'avoir un feu bien ré-

gulier; pour obtenir une planche de première qualité, c'est-à-dire sans yeux, il doit, avec la petite calebasse qui lui sert à puiser le lait dans son récipient et à le répandre sur la palette, écarter les bulles d'air, la partie spumeuse qui se forme à la surface du lait en repos; il doit ne prendre que du lait bien pur et bien propre, vierge de toute impureté, soigneusement débarrassé des petits débris de bois, des parcelles de feuille, des poussières quelconques qui ont pu y tomber; sinon, au lieu d'être *fin*, son caoutchouc ne sera que l'*entre-fin*, ou même le *demi-fin*.

L'opération finie, il reste au fond du récipient où l'on puisait un coagulum contenant des impuretés, mille débris; celui-là n'est guère fumable, et, en tout cas, pas sur la palette; avec ce qui reste de caoutchouc adhérent aux arbres à la fin de la saison, ce sera le *cernamby*, ou caoutchouc impur, de bien moindre valeur.

Le lendemain, le surlendemain, l'Indien ajoute à ce premier enduit de sa palette de nouvelles couches successives; ces couches concentriques et variables d'épaisseur selon la quantité de lait moulée en une seule fois, c'est-à-dire en une seule matinée, seront plus tard parfaitement reconnaissables, et même facilement séparables les unes des autres, comme les lamelles d'un gâteau feuilleté.

Quand, au bout d'un certain nombre de jours, l'Indien juge sa planche suffisamment grosse, il l'incise à fond suivant un des côtés jusqu'au bois de la palette, et celle-ci se détache alors seule de la planche de caoutchouc. A ce moment, la planche, encore toute fraîche, est d'un blanc jaunâtre, luisant comme vernissé; peu à peu, elle se sèche, rapidement les pre-

mières semaines, plus lentement les mois suivants; elle devient brune, puis, à la fin, complètement noire. Il faut au moins huit mois pour qu'elle ait perdu toute son eau; à ce moment, elle pèse, selon mes expériences, 35 p. 100 de moins qu'à son état primitif, c'est-à-dire fraîche. Elle doit sécher à l'ombre, au moins les premiers jours; le soleil la ride et les couches superficielles, gaufrées, sont d'un vilain aspect. L'Indien, s'il ne craint pas les voleurs, la laisse simplement en pleine forêt, à côté du foyer de fumage, avec toutes les autres qu'il fabriquera; sinon il la porte dans sa case, où elle achève de se sécher sans autre soin.

Falsifications indiennes. — Pour rendre sa planche plus lourde, l'Indien emploie toute espèce de procédés de falsification. S'il croit que l'acheteur, peu au courant de ces fraudes, n'incisera pas la planche d'un bout à l'autre, verticalement à son grand axe, il bourre de sable l'espace déprimable compris entre les divers feuillets; pendant qu'il coule et coagule son lait, il y moule jusqu'à du fer, des pierres, des morceaux de bois lourd, le fer-blanc des boites de conserves que les explorateurs sèment un peu partout; les Indiens les recueillent comme des objets précieux, beaucoup plus envieux de la boîte vide que, pleine, de son contenu.

Ils sont experts dans l'art de tromper et de voler, eux qui, cependant, ne supportent pas qu'on les trompe, et s'en vengent toujours. Voici une véritable sophistication de produit :

Parmi les arbres à lait si nombreux dans ces forêts, se trouvent diverses variétés de guttifères. J'en ai établi six jusqu'à ce jour, appelés dans la langue du pays

pindare, *massarandu*, *marina*, etc.; la plupart sont des *Balata*. Ces laits de gutta contiennent de 30 à 50 p. 100 de résines, ce qui les rend impropres à l'industrie; j'ai découvert un procédé très simple, presque entièrement mécanique, d'isoler ces résines dans le lait frais et j'ai pu obtenir la gutta-percha à l'état pur, ou à peu près. Inutile de dire que les Indiens ne connaissent aucune autre utilisation de ces laits que la sophistication du caoutchouc.

Tandis, en effet, que l'hévé doit être préparé et piqué avec soin, d'une certaine manière, que son lait coule lentement, péniblement, goutte à goutte, à raison de 100 à 150 grammes maximum par arbre, le lait, au contraire, du pindare, par exemple, essence plus répandue encore que l'hévé, coule avec abondance, facilité, rapidité : on pique l'arbre avec un couteau, en un seul point; le lait s'écoule comme du pis d'une vache et on peut en recueillir 250 ou 300 grammes en moins d'un quart d'heure; il est coagulable et fumable comme le lait du caoutchouc; aussi les Indiens mélangent-ils volontiers les deux laits, ou mieux, ils opèrent de la façon suivante : près de leur foyer de fumage, ils ont les deux laits séparés dans deux récipients différents. Ils moulent sur la palette tantôt une couche de pindare, tantôt une couche de syringa ou, un jour, ils ne coulent que du caoutchouc, et le jour suivant que du pindare.

S'ils ne donnaient que des planches de pindare, elles se reconnaîtraient à première inspection, étant dures, non élastiques, ramollisables par la chaleur et conservant l'empreinte du doigt; tandis que la planche faite avec les deux laits, enveloppée, toujours superficiellement, d'une couche de caoutchouc pur a, au premier abord, l'aspect et la couleur d'une planche saine.

Manière de reconnaître la fraude. — Mais, si la planche ainsi falsifiée est rejetée à terre de haut, sur le roc en particulier, elle ne rebondit pas comme le pain de caoutchouc pur; elle tombe avec un son mat, et reste sur place comme un morceau de bois, ne contiendrait-elle qu'un huitième de pindare pour sept huitième d'hévé; au-dessous de cette proportion, il est difficile de la distinguer, la planche rebondit à peu près; mais alors la falsification n'en vaut guère la peine pour l'Indien. De plus, si on coupe cette planche en deux, les lames de gutta se différencient de suite d'avec celles de caoutchouc, étant plus denses, plus dures, et conservent l'empreinte du doigt; pris au piège, l'Indien n'essaye pas de nier et enlève lui-même les feuillets de pindare.

Si les planches sont vieilles, bien sèches, bien noires, le caoutchouc durcit et la distinction par feuillets n'est plus possible à moins de les tremper dans l'eau chaude. Mais, même très sec, le pain de caoutchouc est toujours le seul qui rebondisse.

Il m'a été donné d'étudier le premier ces procédés de falsification que l'on ne soupçonnait pas quand le caoutchouc arrivait sur les marchés, où l'on se contentait de le trouver bon ou mauvais sans en connaître les causes.

Résultats de la méthode indienne. — La grosseur et le poids des planches de caoutchouc sont très variables, j'en ai vu une qui pesait 72 kilogrammes. Elle avait dû donner un mal énorme à l'Indien qui l'avait fabriquée; toute sa famille, me dit-il, employait ses forces à faire tourner sa palette, déjà très lourde; elle lui avait coûté cent vingt-six jours de travail, il n'avait fait que celle-là dans toute la saison.

On a beau leur dire qu'une planche petite a tout autant de valeur, proportionnellement, qu'une grosse planche, que c'est la qualité seule qu'il faut envisager. Rien n'y fait; ils mettent leur amour-propre, une sorte de point d'honneur, à faire quelque chose d'énorme. Cet Indien, vantard et menteur, me prétendait n'avoir mis que trois semaines à la fabriquer; mais, en dédoublant et comptant les feuillets — un par jour — je n'eus pas de peine à lui démontrer qu'il y avait employé exactement cent vingt-six jours; il eut l'air d'en rester fort étonné. La planche était très humide; aussi, quand on la lui acheta, lui fit-on subir un décompte de 20 p. 100 sur le prix courant, pour tenir compte de l'excès d'eau. Il s'en montra très irrité. « Une si grosse et si belle planche, me dit-il, un objet d'art; c'est une honte de lui infliger, pour quelques motifs que ce soit, l'humiliation d'un rabais! » Il ne voulut jamais entendre que soixante-douze planches d'un kilogramme chacune et de même qualité auraient exactement été payées le même prix en lui coûtant moins de temps et de mal.

Nécessité du fumage. — Cette méthode du fumage, ou tout autre remplissant le même but, est indispensable.

Le caoutchouc est en effet, un corps très carburé; le lait, quel que soit le soin que l'on prenne à l'*écrémer*, à l'avoir propre, contient toujours des poussières, des bulles d'air; du reste, pendant que la planche tourne sur le foyer, la chaleur fait se dégager l'eau du lait, c'est le principe même de la coagulation; il arrive fatalement que de petites bulles de vapeur d'eau restent emprisonnées dans la pâte et la boursouflent légèrement; donc, plus tard, présence continue, au sein de la planche, d'air et d'oxygène; pour toutes ces causes,

ce caoutchouc est décomposable et fermentescible; les microorganismes et les spores qui s'y forment — j'y reviendrai plus bas — le démontrent surabondamment. Aussi, tout caoutchouc qui n'a pas été fumé, ou aseptisé, a-t-il une bien moins grande valeur; tel celui qui se fait à Madagascar et qui arrive blanc; *peut-être*, fumé, vaudrait-il celui du Para. En Colombie, le caoutchouc est également produit par l'hévé; mais on le laisse se coaguler spontanément au soleil; aussi a-t-il une valeur commerciale trois ou quatre fois moindre.

Je tiens donc à bien mettre en lumière ce point que j'ai établi : si le caoutchouc du Para est de beaucoup le premier du monde, c'est qu'il est le seul *aseptisé.*

Guidé par la pratique, l'Indien le rend aseptique sans s'en douter, en y introduisant, avec du noir de fumée qui les retient et les emmagasine, les gaz et les matières antiseptiques provenant de l'inflammation des coques ou bois résineux qu'il emploie : créosote, phénols et toutes les huiles empyreumatiques, issues de la distillation du goudron végétal, véritable et insaisissable série aromatique.

Donc — sauf le temps employé — le procédé indien est parfait, car : 1° coagulation prompte par la chaleur; 2° antiseptie par la fumée de résine.

Inconvénients de la méthode indienne. — Mais ce procédé présente de grands inconvénients qui m'ont bientôt frappé : sa lenteur, le temps qu'il exige, le coagulum, ou déchet qui reste au fond des récipients, la lenteur de l'opération permettant à une certaine quantité de lait de se coaguler spontanément au contact de l'air, pendant les deux ou trois heures que le travailleur emploie à fumer. En outre, il ne peut piquer que la matinée et de très bonne heure; s'il fait trop

chaud, le lait se coagule tout seul, en totalité ou en partie, dans les petits récipients placés au pied de chaque arbre, puisqu'il faut deux ou trois heures au lait pour couler de cet arbre; ainsi, à peine trois, quatre heures de travail possible dans la journée. De plus, s'il pleut pendant l'opération du piquage, tout le travail est perdu : l'eau se mélange au lait dans les petits récipients, que la fureur des orages et la violence du vent dans ces contrées rendent difficiles à protéger, et alors le lait, trop clair, s'écoule sur la palette sans se coaguler et tombe dans le feu; or, les pluies sont très fréquentes dans ces pays, même dans la saison sèche; c'est ainsi qu'en 1888, dans l'Orénoque, tout le travail de février a été perdu, et il a été impossible de piquer dès la deuxième quinzaine de mars, par suite d'averses incessantes. Il faut compter huit mois de pluies : donc à peine quatre mois de travail possible, sans compter les pluies intermittentes.

Il s'agissait donc de supprimer le fumage, le feu, la palette, tout en faisant un caoutchouc antiseptique.

Je l'ai essayé, et mes travaux ont été couronnés d'un plein succès.

(*A suivre.*)

CHRONIQUE.

Des dangers que présentent les canalisations souterraines en cuivre nu (*).

L'emploi de câbles en cuivre nu, posés sur isolateurs dans des caniveaux souterrains, peut, dans certaines conditions, causer de graves accidents.

C'est ainsi qu'une explosion s'est produite dans la canalisation établie de la sorte, rue Taitbout, à Paris. Cette explosion a eu pour effet de projeter le tampon en fonte d'un regard à la hauteur d'un premier étage, accident qui n'a causé heureusement que des dégâts matériels.

La cause de l'explosion ne peut être évidemment attribuée qu'à l'inflammation de mélanges gazeux détonants. Quelle est la nature de ces gaz et dans quelles conditions ont-ils pu se former? Dans le cas actuel, le gaz de l'éclairage devant être mis hors de cause, puisqu'il n'a été trouvé aucune trace de fuite de gaz dans le voisinage de la canalisation électrique, le mélange détonant pouvait être composé :

1° D'oxygène et d'hydrogène (éléments de l'eau décomposée par électrolyse);

2° D'hydrogène et de chlore (éléments de l'acide chlorhydrique); peut-être même de ces deux mélanges produits simultanément.

La production d'oxygène et d'hydrogène s'explique tout naturellement par l'électrolyse de l'eau qui s'infiltre dans la conduite. Mais, si cette réaction est une des causes de l'explosion, elle n'est pas la seule, car la production du mélange d'hydrogène et de chlore a été, comme nous allons le voir, la cause principale.

(*) Extrait de *l'Électricien*, 2e série, t. III, 1892, p. 253.

On a, en effet, trouvé dans la conduite des quantités notables de carbonate de soude mélangé à du carbonate de potasse et à de la soude caustique. D'un autre côté, les câbles en cuivre étaient fortement rongés, et la couche de sels de cuivre qui entourait chaque conducteur n'était pas constituée uniquement par du vert-de-gris (hydrocarbonate de cuivre), mais bien en majeure partie par du chlorure cuivrique.

La présence dans la canalisation de ces matières salines, parfaitement définies, indiquait que l'on se trouvait en présence de phénomènes électrolytiques complexes. Comment expliquer la présence de quantités relativement considérables de carbonate de soude et de soude caustique? La seule explication plausible est la suivante : au moment des chutes de neige, on jette dans les rues de Paris de grandes quantités de chlorure de sodium impur. Les eaux qui coulent dans les ruisseaux contiennent, par conséquent, de notables quantités de ce sel, et il n'est pas étonnant que ces eaux s'infiltrant dans la conduite ne soient la cause première des phénomènes observés. En effet, sous l'action du courant, le chlorure de sodium en dissolution est décomposé en ses éléments : chlore au pôle positif, sodium au pôle négatif. Mais, comme le sodium décompose immédiatement l'eau pour s'emparer de son oxygène et former de la soude, il y a en même temps mise en liberté d'hydrogène. En résumé, cette action électrolytique met en liberté du chlore au pôle positif et de l'hydrogène (conséquence de la formation de la soude) au pôle négatif. Or, on sait que le mélange d'hydrogène et de chlore constitue un mélange détonant et que la combinaison de ces deux gaz se produit instantanément et avec explosion sous l'action d'une étincelle électrique ou au contact d'une flamme et, dans le cas actuel, la combinaison du sodium avec l'oxygène de l'eau produit une élévation de température tellement grande que, dans certaines conditions, l'hydrogène mis en liberté peut s'enflammer et communiquer le feu au mélange détonant.

Ainsi s'explique facilement non seulement l'explosion, mais aussi la présence du carbonate de soude. En effet, la soude caustique produite par l'électrolyse se combine très rapidement avec l'acide carbonique de l'air et les couches superfi-

cielles, ainsi transformées en carbonate, entourent la soude caustique qui, se trouvant ainsi protégée du contact de l'air, se carbonate plus lentement. Quant à la présence du carbonate de potasse, elle est due à la transformation du chlorure de potassium que l'on trouve toujours dans le chlorure de sodium impur employé pour provoquer la fonte de la neige.

Comme on le voit par ce qui précède, les canalisations en cuivre nu peuvent être une cause d'accidents et l'expérience démontre tous les jours qu'il est nécessaire de faire usage de câbles sinon complètement isolés, du moins protégés par un vernis isolant.

J.-A. MONTPELLIER.

Sur la mesure de la constante diélectrique (*)

Dans une précédente communication, j'ai donné la constante diélectrique du verre, mesurée à l'aide des charges oscillantes de diverses périodes.

Voici les nombres trouvés par d'autres procédés :

1° *Méthode du prisme.* — Un grand prisme rectangulaire en verre (**), gracieusement offert par la Société de Saint-Gobain au laboratoire de physique de la Faculté des sciences, à Marseille, en vue de ces recherches, a été substitué au prisme de résine employé dans mes recherches sur la déviation des surfaces équipotentielles (***). Le nombre trouvé pour k est à 2,39. L'expérience est d'ailleurs beaucoup plus délicate qu'avec la résine, à cause de l'hygroscopicité du verre, et ne réussit que par des temps exceptionnellement secs.

2° *Méthode du galvanomètre balistique* (****). — Pour des

(*) Note de M. A. Perot, présentée par M. A. Potier, *Comptes rendus*, 18 juillet 1892.

(**) Ce prisme en verre d'optique pèse 65 kilogrammes. Ses dimensions sont approximativement : hauteur, 35^{cm} ; base, 26^{cm},5, 57^{cm}, 63^{cm}. Qu'il me soit permis d'exprimer ici toute ma reconnaissance à la Société de Saint-Gobain.

(***) Perot, *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 415.

(****) Perot, *Journal de Physique*, 2e série, t. X, p. 197.

durées de charge variant de $0^{sec},004$ à $0^{sec},02$, k a été trouvé égal à 5,83; cette valeur était erronée par défaut, la méthode employée n'étant pas absolument correcte.

Enfin je rappellerai ici les nombres trouvés par la méthode des oscillations électro-magnétiques : par M. S. Thomson (*) 2,7; par M. Blondlot (**) 2,8 ; valeurs voisines de celles que je trouve par les oscillations dont la période est $72,7.10^{-10}$ secondes. Les oscillations employées par M. Blondlot, eu égard aux dimensions de son appareil, pouvaient être de cet ordre de fréquence.

Je réunis ici en un tableau les résultats trouvés pour la résine et le verre :

		OSCILLATIONS	GALVANOM. balistique	MÉTHODES statique	MÉTHODES d'attraction	PRISME
Résine.	Durée de la charge.	400.10^{-10} sec.	de $0^{ser},0025$ à $0^{sec},022$	Longue.	Longue.	Longue.
	k	2,07	2,02 par défaut.	2,88	5,4	de 2,00 à 2,10
Verre.	Durée de la charge.	$72,7.10^{-10}$ 880.10^{-10}	de $0^{sec},004$ à $0^{sec},02$	»	»	Longue.
	k	2,71 6,10	5,83 par défaut.	»	»	2,39

En examinant les nombres contenus dans ce tableau, on remarque un accord intéressant entre la valeur k donnée par la méthode du prisme et les valeurs données par les oscillations les plus rapides. Cet accord est surtout frappant pour le verre, ou k varie de 2,39 à 6,10.

Ce fait s'explique très bien, si l'on admet que la charge résiduelle est due à la polarisation de cellules électrolytiques réparties d'une manière arbitraire dans toute la masse du diélectrique, la polarisation de ces cellules n'ayant pas d'influence sur la direction des lignes de force, ainsi que je l'ai fait remarquer à propos du prisme de résine. Le résidu n'in-

(*) S. Thomson, *Proceedings of the Royal Society*, 20 juin 1889.
(**) Blondlot, *Société de Physique*, 2e série, t. X, p. 197.

tervient pas dans cette méthode de mesure, tandis que dans toutes les autres son influence se fait sentir.

En résumé, si l'on détermine k par la mesure de la capacité d'un condensateur, on trouve un nombre qui décroît avec la durée de la charge, et tend vers une limite qui paraît être égale au nombre donné par la mesure de la déviation des surfaces équipotentielles ; *cette valeur serait la véritable constante diélectrique.*

Sur la vitesse de propagation des ondulations électromagnétiques dans les milieux isolants et sur la relation de Maxwell (*).

La considération de l'homogénéité conduit à une relation d'une extrême simplicité, concernant la propagation des ondes électro-magnétiques dans les différents milieux isolants. Soit un oscillateur électrique, formé d'un métal extrêmement bon conducteur ; les ondes qu'il est susceptible d'émettre lorsqu'il fonctionne dans un certain milieu ont une longueur qui ne peut dépendre que de la forme et des dimensions de l'oscillateur d'une part, et des propriétés électriques du milieu d'autre part. Ce milieu étant supposé isolant, ses propriétés électriques sont définies par un coefficient unique, sa constante diélectrique ou son pouvoir inducteur spécifique K, puisque les constantes magnétiques de tous les diélectriques connus sont sensiblement égales entre elles. Il en résulte que λ ne peut être fonction que d'un certain nombre de longueurs, servant à définir la forme et la grandeur de l'oscillateur et du coefficient K. D'autre part, la valeur numérique de K dépend de l'unité de temps (**), que l'on peut toujours choisir arbitrairement ; il est, par suite, impossible que l'expression de λ, qui est une longueur, contienne K. Donc, *un oscillateur étant donné, la longueur des ondes qu'il est susceptible d'émettre doit rester la même, quel que soit le milieu isolant dans lequel l'expérience est faite.*

(*) Note de M. R. Blondlot, présentée par M. Lippmann, *Comptes rendus*, 25 juillet 1892.

(**) Les dimensions de K sont $L^{-2}\,T^{2}$.

J'ai vérifié cette proposition dans le cas de diélectriques liquides : des ondes électriques sont produites et transmises, par le procédé que j'ai décrit (*), le long de deux fils de cuivre étamé parallèles, distants de 8 centimètres; un résonnateur en cuivre doré, analogue à celui dont je me suis servi pour déterminer la vitesse de propagation des ondes électriques, est disposé entre les deux fils; la partie du résonnateur qui forme condensateur est contenue dans une cuve en verre, la portion des fils de transmission située au delà du résonnateur est contenue dans une auge en bois de 4 mètres de longueur. La cuve et l'auge étant vides de liquide, on cherche où il faut placer le pont mobile pour faire disparaître l'étincelle; la distance du pont au résonnateur est alors le quart de la longueur des ondes que le résonnateur est susceptible d'émettre; il est toutefois inutile de la mesurer et l'on se contente de repérer exactement la position du pont. Cela fait, on emplit du liquide choisi la cuve qui contient le condensateur; on constate que la longueur d'onde devient beaucoup plus grande (elle passait de $14^m,8$ à plus de 25 mètres dans une expérience faite avec l'essence de térébenthine). On emplit l'auge du même liquide, et, en cherchant de nouveau la position du pont pour laquelle l'étincelle du résonnateur disparaît, j'ai constaté que cette position est *exactement* la même que dans la première partie de l'expérience, lorsque la cuve et l'auge contenaient de l'air. L'expérience a eu un égal succès avec les deux diélectriques que j'ai employés, l'essence de térébenthine et l'huile de ricin (**); la vérification de la loi a été complète.

Remarquons que l'acoustique nous présente un cas tout à fait analogue : un tuyau sonore émet toujours des ondes dont la longueur dépend uniquement de celle du tuyau et, par suite, est indépendante de la nature de l'atmosphère dans laquelle on le fait vibrer.

De la loi précédente je vais déduire une conséquence importante, que M. Potier a aussi aperçue :

Entre la capacité C, le coefficient de self-induction L et la

(*) *Comptes rendus*, t. CXIV, p. 283, 1892. — *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1892, p. 144.

(**) J'expliquerai plus loin pourquoi l'huile de ricin offre ici un intérêt particulier.

période T de mon résonnateur existe la relation

$$T = 2\pi\sqrt{CL};$$

d'où, en multipliant les deux membres par V, vitesse de la propagation des ondes,

$$\lambda = 2\pi\sqrt{L}\times\sqrt{C}\times V;$$

comme λ et L sont indépendants de la nature du milieu diélectrique, le produit CV doit l'être aussi; or, lorsqu'on passe de l'air à un autre diélectrique, la valeur de C devient K fois plus grande, et la valeur de V doit être multipliée par l'inverse $\frac{1}{n}$ de l'indice de réfraction du nouveau milieu; il faut donc que l'on ait $K\times\frac{1}{n^2} = 1$ ou $K = n^2$. C'est la relation prévue théoriquement par Maxwell.

Je me trouve ainsi avoir vérifié cette relation pour les deux liquides que j'ai employés, et mes expériences viennent confirmer celles que MM. L. Arons et H. Rubens ont récemment publiées (*). L'huile de ricin offre ici un intérêt spécial, car lorsqu'on cherche à déduire des valeurs des indices lumineux de ce corps l'indice qui correspondrait à une longueur d'onde infinie, à l'aide de la formule de dispersion de Cauchy, on trouve le nombre de 1,4674, tandis que la racine carrée de la constante diélectrique est 2,18 (**); la relation de Maxwell semblerait ainsi en défaut, mais c'est le mode de vérification qui est incorrect. Je ferai remarquer que mes expériences remplissent rigoureusement la condition exigée pour que la relation de Maxwell soit applicable, à savoir que les valeurs de k et de n se rapportent à des phénomènes de même période; elles offrent de plus la circonstance avantageuse d'être indépendantes de toute mesure, puisqu'elles ne reposent que sur la constatation de l'égalité de deux longueurs.

Il ne faudrait pas croire que le raisonnement fondé sur la considération de l'homogénéité qui nous a amené à la relation de Maxwell soit nécessairement applicable à tous les diélectriques et que les vérifications expérimentales soient super-

(*) *Annales de Wiedemann*, Bd. XLII, p. 581, 1891.
(**) *Ibid.*, p. 582.

flues; ce raisonnement suppose, en effet, que les propriétés électriques du milieu soient définies par la seule constante diélectrique. Si plusieurs coefficients étaient nécessaires, la longueur d'onde correspondant à un oscillateur donné pourrait ne plus être indépendante du milieu, et la relation de Maxwell pourrait être en défaut; l'expérience seule peut donc décider en dernier ressort.

J'adresse ici mes remercîments à M. M. Dufour, qui m'a aidé de la manière la plus obligeante dans l'exécution de mes expériences.

Cuivre ou aluminium?

On sait que la résistance R (en ohms) d'un conducteur de longueur l (en cm) et de section s (en cm^2) et de résistance spécifique α a pour valeur :

$$R = \alpha \frac{l}{s}. \qquad (1)$$

Si l'on fait intervenir la densité du métal D au lieu de sa section, on a :

$$M = VD = lsD,$$

d'où

$$R = \frac{\alpha D l^2}{M}, \qquad (2)$$

et

$$M = \frac{\alpha D l^2}{R}. \qquad (3)$$

La formule (3) montre que, pour une longueur l donnée, la masse d'un conducteur ayant une résistance donnée R, ne dépend que du produit αD de la résistance spécifique par la densité du métal employé.

En comparant à ce point de vue le cuivre et l'aluminium, on trouve que la masse d'aluminium nécessaire pour avoir une résistance donnée entre deux points donnés est deux fois moindre que celle du cuivre. Il en résulte que l'aluminium employé comme conducteur sera équivalent au cuivre, tout en étant deux fois moins lourd.

Par contre, on déduit de la formule (1) que le volume V d'un conducteur qui a pour expression

$$V = \alpha \frac{l^2}{R}$$

est, pour une longueur et une résistance données, proportionnel à la résistance spécifique α. Dans le cas particulier, le volume de l'aluminium serait 1,8 fois plus grand que celui du cuivre.

(*L'Industrie électrique*, 25 juillet 1892.)

Coup de foudre en mer sur un navire,

Le récit détaillé qui suit, des effets produits par un coup de foudre sur la boussole d'un navire est extrêmement intéressant et probablement à peu près unique en son genre :

« Le capitaine Woodcock dirige le *Capella*, steamer en acier, d'un poids net officiel de 2.036 tonnes, à deux mâts qui sont en fer par le bas et en bois dans le haut. Le hauban en fil d'acier, fourré par le dessus, a été mené jusqu'à environ 915 millimètres des pommes de mât, mais il n'a pas été monté de paratonnerre spécial.

« Voici l'incident survenu, d'après le rapport du capitaine Woodcock, le 16 mai, à 20°,12 de latitude nord et à 70°,50 de longitude est :

« Dans la matinée, le vent avait soufflé par rafales, avec accompagnement de pluie, de tonnerre et d'éclairs. Vers sept heures et demie, la tempête paraissait calmée et le temps avait l'air de redevenir serein quand, après un intervalle considérable, il y eut un éclair très vif accompagné d'une explosion violente dans la lisse de bastingage, près du hauban d'avant de tribord, comme si quelque chose avait fait explosion et projeté des étincelles de feu sur le navire. Le mât de hune était brisé près du sommet et quelques cordages du galhauban du mât de perroquet arrachés. Le choc avait également bouleversé les boussoles. Celle du pont supérieur avait dévié de 72° N. O. à 45° N. O. et elle demeura pendant



un certain temps dans cette direction. La boussole du tambour de la roue du gouvernail, qui indiquait auparavant la direction O. N. O., indiquait, après le coup de foudre, E. S. E., et la boussole de la dunette était aussi violemment bouleversée. Après avoir mis à l'essai une autre rose de boussole dans le tambour de la roue du gouvernail, il fut constaté que la roue n'avait subi aucune perturbation, mais le choc avait tellement modifié le magnétisme du navire qu'il avait renversé la rose. La déviation O de la boussole du pont supérieur augmenta, comme il fut constaté plus tard, de 9°O à 19° sur le chiffre primitif de marche (72°N. O). A quatre heures de l'après-midi, le navire vira complètement de bord et il fut constaté que l'affolement de la boussole était considérablement aggravé, car la déviation vers le N. avait changé de 6°O à 27°O. Après le virage de bord du navire, il fut constaté que la boussole du tambour de la roue du gouvernail avait quelque peu regagné de sa direction normale, car l'aiguille N se dirigeait de nouveau sensiblement vers le nord. Depuis cet accident les boussoles n'ont jamais repris leur direction normale primitive. »

(*Bull. intern. de l'électricité*, 25 juillet 1892.)

Gérant : Vᵉ DUNOD. — PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 Septembre-Octobre

LA PRODUCTION DE LA GUTTA-PERCHA

(Communication faite à la *Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, le 10 juin 1892.)

MESSIEURS,

Il y a deux mois, en vous rendant compte des missions dont il a été chargé en Malaisie, pour y rechercher la plante qui fournit la meilleure gutta-percha, M. Sérullas a fait allusion à une méthode nouvelle d'extraction de cette substance. Il a bien voulu me reconnaître la paternité de cette méthode, à l'étude de laquelle il a pris lui-même une part importante. Je voudrais aujourd'hui vous fournir quelques renseignements sur ce sujet.

Tout d'abord, je vous demande la permission d'indiquer rapidement la raison d'être, l'origine, des essais en question. Je ne me propose pas par là d'expliquer et de justifier mon intromission dans des questions un peu différentes de celles dont je m'occupe d'ordinaire; ce point de vue personnel ne saurait, en effet, vous

intéresser. Je désire seulement vous résumer les *desiderata* d'une industrie très digne, à tous égards, de votre attention, particulièrement par le rôle qu'elle joue dans les applications chaque jour plus nombreuses de l'électricité. Cet exposé permettra de juger mieux l'intérêt que présentent les tentatives dont je vais vous entretenir ainsi que la valeur des résultats qu'on parait autorisé à en espérer.

Il y a longtemps déjà, j'avais été conduit à étudier les principes dont le mélange constitue la gutta-percha. Avec le concours de l'un de mes élèves, M. Damoiseau, j'avais isolé ces principes dans un état de pureté qui, je crois, n'avait pas été atteint encore; je les avais, tous les trois, obtenus cristallisés, c'est-à-dire sous une forme que ne fait guère prévoir la nature plastique si accentuée du mélange. Toutefois l'inconstance de la composition de la matière première que nous fournissait le commerce, certaines différences relevées entre les propriétés des principes obtenus avec des guttas différentes, la crainte de ne pouvoir reproduire à coup sûr avec une seconde gutta les résultats observés avec une première, nous avaient fait ajourner toute publication de nos observations, lorsque la mort est venue enlever mon collaborateur.

Entre temps, la mission de M. l'ingénieur Séligmann-Lui m'avait expliqué les difficultés que l'on rencontre à se procurer, même en petite quantité, une gutta-percha d'origine parfaitement assurée, provenant d'un végétal bien déterminé. C'est donc avec un grand intérêt que j'ai recueilli de M. Sérullas les renseignements rassemblés par lui, lors de ses premières missions. Par une considération quelque peu égoïste, j'y voyais apparaître la possibilité de reprendre, sur une gutta-percha

d'origine certaine, le travail commencé autrefois. A un point de vue plus général, les missionnaires français apportaient dès lors un peu de lumière dans un sujet singulièrement obscurci, d'abord par la nature propre des choses, mais plus encore par les agissements des intérêts.

Jusqu'à cette époque, nos connaissances sur la pratique de la récolte de la gutta-percha, aussi bien que sur la nature des plantes qui produisent cette substance, étaient restés singulièrement vagues. Certains végétaux, dits producteurs de gutta-percha, avaient bien été décrits par divers botanistes, mais aucune relation n'avait été établie entre l'espèce de ces végétaux et la qualité du produit fourni par chacun d'eux. Il y a plus, nous savons maintenant que certaines plantes auxquelles on attribuait alors la production de la gutta-percha ne donnent en réalité que des matières résineuses, absolument impropres aux usages pour lesquels on recherche cette substance. M. Séligmann-Lui et M. Sérullas ont étudié sur place l'extraction malaise de la gutta-percha et nous ont procuré sur ce sujet des données précises. Celles-ci ont été confirmées par les observations de M. Burk, directeur-adjoint du jardin botanique de Buitenzorg. En outre, dès 1888, M. Sérullas annonçait avoir retrouvé l'*Isonandra gutta* de Hooker, et reconnu l'existence de véritables forêts de ce végétal réputé détruit ; il avait étudié sa floraison et sa fructification ; enfin il avait établi que le produit de ce végétal est bien celui dont les qualités remarquables ont été hautement appréciées autrefois, celui dont les électriciens déplorent la rareté toujours croissante. C'étaient là des résultats d'une importance incontestable.

Pour préciser, permettez-moi de vous rappeler, en quelques mots seulement, comment opèrent les Malais pour se procurer la gutta-percha. Ils commencent par abattre l'arbre qu'ils ont choisi. Aussitôt le végétal couché sur le sol, ils s'empressent d'en détacher les branches, les feuilles continuant à fonctionner et à enlever au tronc le latex dans lequel se trouve la gutta-percha. Ils pratiquent ensuite dans l'écorce, en partant du haut du tronc, des incisions parallèles, inclinées sur la direction du tronc, incisions entre lesquelles ils enlèvent un lambeau d'écorce. Le latex s'échappe des canaux laticifères sectionnés et se rassemble dans les cavités ainsi pratiquées; presque instantanément, la matière se coagule et il est possible de la recueillir. En la plongeant un peu plus tard dans l'eau bouillante, en la malaxant et en la battant avec des maillets de bois, la gutta-percha brute est ensuite réunie en pains plus ou moins façonnés et livrée au négociant chinois, intermédiaire obligé du commerce européen. Ce qui frappe le plus dans cette exploitation trop primitive, c'est l'énorme consommation d'*Isonandra* qu'elle entraîne. Or il s'agit d'arbres de grandes dimensions; des troncs de trop petit diamètre ne se prêteraient pas fructueusement à une semblable exploitation. En fait, les Malais s'adressent de préférence aux arbres d'une trentaine d'années, dont le tronc a environ 90 centimètres de tour un peu au-dessus du sol. Les arbres plus gros, outre qu'ils sont fort rares, sont d'un abatage pénible. D'ailleurs, au delà d'un certain développement, au delà d'un certain âge du végétal, le rendement va en diminuant et même s'annule. Les repousses des arbres anciennement abattus, plus abondamment nourries par un système radiculaire très développé,

peuvent être abattues et traitées fructueusement à partir de l'âge de quatorze à quinze ans.

Si l'on n'utilise, de préférence, que des arbres d'un âge avancé, le rendement obtenu en gutta-percha est-il du moins proportionné à la valeur que l'on doit accorder à des végétaux aussi âgés, ainsi qu'à la main-d'œuvre considérable qui est nécessaire pour leur abatage? C'est là une question à laquelle il est possible aujourd'hui de répondre par des faits précis.

Il résulte des observations de M. Sérullas, qui a vu opérer les Malais, qu'un arbre de trente ans, au tronc bien régulier, fournit, dans les meilleures conditions, un maximum de 265 grammes de gutta-percha. Il y a plus, M. Sérullas a imité les Malais, en apportant à son opération tous les soins possibles; il a poussé l'extraction aussi loin que faire se pouvait, avec plus de persévérance qu'on n'en aurait montré dans la pratique ordinaire; or voici la totalité de l'échantillon de gutta-percha qu'il a pu extraire d'un arbre de trente ans environ, dont je place sous vos yeux une section du tronc. Cet échantillon, plus pur, il est vrai, que la gutta-percha malaise, ne pèse que 230 grammes. Une repousse de quinze ans lui a fourni de même cet autre échantillon du poids de 90 grammes.

Quand on observe que l'arbre de trente ans atteint d'ordinaire une hauteur qui n'est pas inférieure à 24 ou 25 mètres, et qu'il ne saurait sans beaucoup de travail être étendu sur le sol de la forêt, on est frappé de la faible valeur que le Malais doit attribuer à sa main-d'œuvre. M. Sérullas a vu abattre dans l'État de Pahang, par des Dayaks venus en bande de Bornéo pour récolter la gutta-percha, un arbre dont le tronc n'avait pas moins de 1^{m},20 de diamètre, un véritable

géant, par conséquent; il n'a été recueilli devant lui que 382 grammes de produit. C'était un bien pauvre profit pour un si gros labeur.

M. Burck a vu, sur la côte orientale de Sumatra, extraire la gutta-percha d'arbres assez rares en cette région, identiques, semble-t-il, à l'*Isonandra gutta*. Il admet un rendement moyen de 313 grammes par arbre adulte. L'écart entre les chiffres des divers observateurs peut être dû à des différences de pays ou de saisons ; la proportion plus ou moins forte, mais toujours considérable, des débris végétaux retenus par le produit suffirait d'ailleurs à l'expliquer.

D'après ce qui précède, l'exploitation malaise se résume en peu de mots : 1° nécessité de s'attaquer aux arbres d'un âge assez avancé ; 2° production extrêmement limitée pour chaque arbre abattu.

Si l'on rapproche de ce moyen de production, moyen dévastateur par excellence, les chiffres représentant la consommation du produit, on est immédiatement effrayé de l'avenir réservé à l'approvisionnement des industries électriques. En 1884, par exemple, M. N.-P. Trevenen, après avoir relevé dans les différents ports de la Malaisie les quantités de gutta-percha, bonne ou mauvaise, expédiées en Europe, arrivait à un total de 52.067 péculs, soit de 3.144.847 kilogrammes. Or, si l'on s'en tient aux indications que je viens de rapporter, cette production de 1884 aurait exigé la destruction de plus de 12 millions d'arbres de trente ans. Je sais bien que les Malais abattent en très grand nombre des arbres autres que l'*Isonandra gutta*, arbres avec lesquels la qualité est surtout remplacée par la quantité ; que les mêmes Malais ajoutent à leurs récolte les matières végétales et même minérales les plus diverses.

Je sais aussi que l'intermédiaire chinois, sous prétexte de donner à la gutta-percha une soi-disant forme commerciale, travaille le produit avec assez d'habileté pour en accroître singulièrement le poids. Je sais enfin que le négociant européen purifie la marchandise qu'il tient des Asiatiques en la faisant *rebouillir*, ce qui réalise une nouvelle multiplication des pains. Mais en admettant pour toutes ces opérations le coefficient d'accroissement qu'elles comportent, il n'en reste pas moins certain que la consommation d'arbres est énorme, tellement grande que le précieux végétal est destiné à disparaître rapidement. Une circonstance relevée par M. Sérullas est de nature à hâter encore le dénouement : l'*Isonandra* ne devient adulte que vers trente ans, c'est-à-dire qu'il ne commence à produire les fruits indispensables à la reproduction naturelle de l'espèce qu'à l'âge où il ne peut avoir échappé que par hasard à la hache des Malais.

D'ailleurs, toutes ces causes n'ont pas tardé à porter effet. Les quantités de gutta-percha exportées de Malaisie ont diminué dans les années qui ont suivi 1884 et la valeur du précieux produit s'est élevée rapidement. C'est ainsi que je trouve dans un très beau volume récemment publié sur le caoutchouc et la gutta-percha, par M. Chapel, secrétaire de la Chambre syndicale des fabricants de caoutchouc, que la gutta-percha de première qualité, vendue 9 francs le kilogramme en janvier 1889, montait à 10 francs au mois de mai, puis à 13 francs en juillet de la même année; au mois de juillet de l'année 1891, il atteignait 17 francs. Aujourd'hui, il est plus élevé encore. Or, il s'agit ici de la gutta d'importation, non épurée, contenant encore jusqu'à 50 p. 100 de matières étrangères, débris

d'écorce, eau, etc. ; il faut donc doubler ces chiffres pour le produit utilisable dans les diverses applications.

En somme, la production diminue à mesure que la consommation s'accroît.

Dès l'année 1881, le congrès général des électriciens réuni à Paris avait jeté le cri d'alarme. Depuis cette époque, le mal ayant augmenté considérablement, les doléances des industriels s'étaient adressées sous des formes diverses aux grands États européens. Eux seuls, disait-on, ont la vie assez longue, disposent de moyens financiers assez puissants pour créer des forêts capables d'assurer, dans un avenir forcément éloigné mais souhaitable cependant, l'approvisionnement de l'industrie en une matière première devenue indispensable. Tels sont les projets, les *desiderata*, que l'on retrouve développés dans les publications les plus récentes.

Telles étaient certainement les idées de l'administration des télégraphes quand, en 1888, elle envoyait M. Sérullas en Malaisie, avec mission de rapporter des plants d'*Isonandra gutta ;* accédant au vœu unanime des intéressés, elle se proposait dès lors l'acclimatation de ce végétal dans diverses colonies françaises. A la même époque, les gouvernements anglais et hollandais semblaient vouloir s'engager dans une voie analogue.

Il n'était pas possible cependant de n'être pas frappé des difficultés avec lesquelles la mission de M. Sérullas parvenait à s'organiser. La caisse de l'État s'entr'ouvrait à peine. Ne faut-il pas à un ministre une foi robuste et de longs espoirs pour qu'il adopte une entreprise dont les résultats ne se manifesteront qu'un tiers de siècle plus tard, après trente ou trente-cinq ans de dépenses faites à 20.000 kilomètres de la commission

du budget? Les hésitations administratives m'ont fait douter dès lors de l'efficacité de cette action gouvernementale réclamée de toutes parts et, encore aujourd'hui, recommandée par les personnes les plus compétentes.

Comment espérer que les États européens feront à un avenir éloigné les sacrifices énormes, nécessaires pour fournir à une destruction annuelle de 12 millions d'*Isonandra* de trente ans, alors qu'ils reculent devant les frais très limités d'une simple mission préparatoire? Il fallait évidemment, m'a-t-il semblé, chercher ailleurs la solution de la question.

La culture forestière de l'*Isonandra gutta* constitue la seule raison d'une intervention gouvernementale. Le mode de récolte des Malais est ainsi, indirectement, l'origine de toutes les difficultés; c'est lui qu'on doit chercher à modifier.

La première idée qui se présente, lorsqu'on songe à le remplacer, est de soumettre les *Isonandra* à un traitement analogue à celui adopté pour extraire la térébenthine des conifères. Une pratique aussi primitive et aussi simple apparaît bientôt comme inapplicable, puisque les Malais ne l'emploient pas. M. Sérullas a tenu cependant à faire quelques essais dans cette direction, lors de ses premières missions. Il a constaté que la plaie pratiquée au tronc sèche presque immédiatement après avoir fourni une quantité de latex presque insignifiante; si l'on nettoie ensuite cette plaie, les canaux oblitérés ne laissent plus écouler la moindre trace de liquide. Il semble que les propriété plastiques de la gutta-percha contribuent à rendre le procédé inefficace; d'ailleurs l'abondance du latex dans l'*Isonandra gutta* n'est nullement comparable à celle que l'on a constatée dans

les plantes à caoutchouc ou même dans le *mimusops balata.*

Les renseignements recueillis par M. Sérullas, et surtout l'examen des échantillons qu'il a rapportés lors de son avant-dernière mission, m'ont fait entrevoir la solution du problème dans une tout autre direction. Ces échantillons, destinés surtout à l'étude botanique, étaient trop peu abondants pour servir à une expérimentation régulière ; ils permettaient cependant de reconnaître la présence de la gutta-percha dans les diverses parties du végétal ; ils permettaient notamment de constater que les organes autres que le tronc contiennent de la gutta-percha en des quantités que la simple observation démontre être tout à fait comparables à celles renfermées dans le tronc lui-même.

Le rôle de la matière coagulable du latex dans le végétal n'est pas bien établi. Certains botanistes, et non des moins autorisés, la considèrent comme un produit d'excrétion. Le fait est que sa résistance à l'action des réactifs et des dissolvants aqueux semble de nature à justifier une semblable opinion. Que devient donc dans la plante cette matière peu transformable que le latex charrie? Ne s'accumulerait-elle pas en quelque organe du végétal où il serait possible d'aller la chercher par des moyens plus délicats que ceux des Malais? Si, par hasard, ces organes se trouvaient être de ceux que l'on peut séparer du végétal sans compromettre sa vie, la question aurait fait un grand pas. Je n'hésitais pas à croire, en effet, renseigné que j'étais par mes recherches antérieures sur les composants de la gutta-percha, qu'il serait possible de trouver des dissolvants permettant de retirer cette matière des organes qui la contiennent et de la retirer seule.

Je fis part de mes observations et de mes suppositions à M. Sérullas avant son départ pour l'Indo-Chine et il voulut bien me promettre de chercher à les contrôler. Je me plais à reconnaître que si ces projets encore vagues ont pu prendre corps et aboutir aux promesses heureuses de l'heure actuelle, c'est à lui que ces résultats sont dus.

Je rédigeai un programme d'observations et même d'expériences à faire, programme trop vaste et même un peu chimérique pour les ressources expérimentales de la presqu'île Malaise. Je dressai surtout une liste des matériaux à expédier en Europe pour servir aux essais projetés. Quoique trop souvent arrêté par la fièvre, M. Sérullas a répondu à mes questions dans la limite du possible. Il m'a fait parvenir les échantillons recueillis dans les conditions que je lui avais demandé d'observer. Il me reste à vous faire connaître ce que nous a appris leur étude.

Je ne vous arrêterai pas, messieurs, aux hypothèses fausses que l'observation ou l'expérience ont éliminées ; elles étaient nombreuses. Je vous parlerai seulement de celles qui se sont trouvées justifiées.

En premier lieu, les dissolvants utilisables pour extraire la gutta-percha du végétal sont nombreux. Celui qu'il me paraît, quant à présent, le plus avantageux d'employer, est le toluène. Il dissout simultanément, sans les altérer, les trois composants essentiels de la gutta-percha ; il est très facile à séparer du produit dissous ; il est très maniable sans grandes pertes quand on le met en œuvre dans des appareils appropriés ; il est par suite économique. Pour simplifier, c'est le seul dont je parlerai ici.

J'ai craint, à l'origine, qu'il ne dissolve en quantité

notable quelqu'autre principe existant dans le végétal, lequel principe resterait ensuite mélangé à la gutta-percha. Si l'on néglige une faible proportion de chlorophylle, dont le pouvoir colorant intense tend à exagérer aux yeux la quantité, il n'en est rien. Je craignais surtout la dissolution par le toluène des corps gras et des matières cireuses dont je supposais l'existence dans divers organes de la plante; j'ai donc fait quelques expériences pour m'éclairer sur ce point. Le pétrole léger dissout les impuretés en question sans dissoudre sensiblement la gutta-percha; on a lessivé avec ce liquide la poudre végétale sèche et on a distillé la dissolution; or, les quantités de matières laissées comme résidu à la distillatiou ont été trouvées tout à fait négligeables. Il était dès lors inutile de s'en préoccuper, au moins pour les expériences préalables.

Les premières expériences, faites sur les matériaux rapportés par M. Sérullas, ont eu pour objet de connaître la richesse comparative en gutta-percha des divers organes détachés de l'*Isonandra gutta*. Ces matériaux se composaient principalement :

1° De feuilles sèches, exposées à l'air depuis longtemps et venues peu serrées dans une caisse;

2° De feuilles venues immergées dans de l'eau additionnée d'un antiseptique afin d'éviter toute oxydation des produits contenus dans les cellules végétales;

3° De jeunes pousses séchées à l'air et dépouillées de leurs feuilles;

4° Enfin, de branches plus anciennes, de deux ans environ, séchées à l'air comme les jeunes pousses.

Contrairement à mon attente, les expériences ont montré que les dissolvants enlèvent aux branches déjà vieilles, aux jeunes pousses et aux feuilles, des quan-

tités de gutta-percha à peu près constantes et toujours considérables. C'était là un premier fait dont on ne saurait méconnaître l'intérêt. Non seulement il faisait entrevoir un résultat favorable au point de vue de la possibilité d'extraire la gutta-percha sans détruire complètement le végétal, en détachant seulement quelques-unes de ses parties dont l'élimination ne pourrait compromettre son existence; en outre, il fixait immédiatement les idées sur les organes qu'il serait le plus avantageux de traiter. En coupant les bourgeons et les branches, si l'on ne compromet pas la plante, on amoindrit tout au moins les récoltes futures ; en détachant les feuilles qui se renouvellent sans cesse et que le végétal lui-même ne tarde pas d'ailleurs à éliminer, on réduit au minimum le tort porté à l'*Isonandra*, de telle sorte qu'avec quelque prudence et quelque connaissance des conditions de son développement, on peut espérer lui faire donner régulièrement des récoltes relativement abondantes. Dès les premiers essais, les feuilles se sont trouvées ainsi désignées comme la matière première la plus recommandable pour la production de la gutta-percha.

D'ailleurs, l'abondance du précieux produit se reconnaît dans les feuilles par l'examen le plus superficiel. Il suffit de déchirer doucement, par une traction modérée des doigts, une feuille sèche d'*Isonandra gutta*, dans une direction perpendiculaire à celle des vaisseaux pour voir s'allonger entre les orifices produits par la rupture de chacun de ces derniers un fil de gutta-percha qui s'étire peu à peu. Autrement encore, quand on pulvérise les feuilles sèches, en les passant dans un moulin à noix, par exemple, la poudre obtenue prend, en s'agglomérant, un aspect spécial, dû à la

présence de la gutta-percha, aspect que ne présentent pas d'ordinaire les poudres de feuilles et qui dénonce la richesse de la matière première.

Fixé sur ce point, j'ai dirigé mes essais dans le but d'instituer un procédé simple et aisément praticable pour extraire la gutta-percha des débris végétaux qui la contiennent. Je laisse de côté les tâtonnements inévitables et je vous indique seulement la méthode pratique à laquelle ils ont conduit.

Le débris végétal est pulvérisé assez finement, puis mis en suspension dans le toluène; la bouillie fluide obtenue est mise en digestion, au bain-marie, pendant quelque temps. La gutta se dissout dans le toluène avec une certaine lenteur; sa dissolution est facilitée par des agitations répétées et par des chauffages intermittents au bain-marie. Après quelques heures on verse le tout dans un appareil à épuisement sur un filtre de coton. Le toluène passe; les débris végétaux restent sur le filtre. On épuise ces derniers par une lixiviation pratiquée avec du toluène tiède. On arrive ainsi à enlever assez rapidement la totalité des matières solubles. On obtient une solution toluénique épaisse, visqueuse lorsqu'elle est très chargée, colorée en vert par un peu de chlorophylle. Il reste à séparer le dissolvant de la gutta-percha qu'il tient en dissolution. Le toluène, puisque c'est lui que j'ai pris pour exemple, bout à 110°, température que la gutta-percha ne peut supporter sans inconvénient; il ne faut donc pas songer à l'éliminer par la distillation. D'ailleurs, même avec des véhicules plus volatils, avec la benzine comme avec le sulfure de carbone, on n'arrive pas facilement à leur expulsion complète par distillation, bien qu'on élève la température jusqu'au point où le produit s'al-

tère. J'ai cherché alors à faire intervenir une autre vapeur dont la tension s'ajoutant à celle du dissolvant produirait l'entraînement de celui-ci. L'emploi de la vapeur d'eau était dès lors tout indiqué. Avec le toluène, cette intervention de la vapeur d'eau à 100°, c'est-à-dire à une température inférieure cependant de 10° au point d'ébullition du toluène, est remarquablement efficace : 1 volume d'eau vaporisée entraîne ainsi de 3 à 4 volumes de toluène. Il suffit, dès lors, de faire passer la vapeur d'eau à 100° dans la solution toluénique de gutta-percha, maintenue elle-même à 100°, pour entraîner très rapidement le dissolvant. La gutta-percha reste dans l'appareil avec de l'eau condensée. Si l'on plonge suffisamment le courant de vapeur passant dans la masse qu'il agite, la totalité du toluène est expulsée, le produit perd l'odeur de l'hydrocarbure, et enfin son poids cesse de varier. Cette expulsion complète est facile à réaliser quand on opère sur des poids de gutta-percha limités. Dès que, dans les petits appareils de laboratoire, on veut opérer sur des centaines de grammes, elle devient au contraire longue et pénible. Toutefois, les faits observés ne permettent pas de douter que dans un appareil industriel, où la matière pâteuse serait agitée vivement au sein du courant de vapeur d'eau, le résultat voulu pourrait être atteint très rapidement, même avec des masses considérables de produit.

Telle est la méthode très simple à l'aide de laquelle ont pu être établies quelques données qu'il me reste à vous soumettre.

D'abord les rendements en gutta-percha sont supérieurs de beaucoup à tout ce qu'il était permis d'espérer. Voici des chiffres propres à fixer les idées sur ce point :

2.000gr	vieux bois sec ont donné	209gr	de gutta-percha, soit	10,45	p. 100
2.000	— —	183	—	9,15	—
1.000	bourgeons secs —	102	—	10,20	—
2.000	— —	211	—	10,50	—
2.000	feuilles venues sèches —	204	—	10,02	—
5.000	— (épuisem. incomplet)	453	—	9, C6	
200	feuilles venues dans l'eau.	21	—	10,05	—
200	— —	18	—	9,00	—

On peut donc compter sur un rendement de 9 à 10 p. 100.

Mais quelle est la nature de la gutta-percha ainsi obtenue? La qualité ne serait-elle pas inférieure à celle de la gutta-percha malaise? Un rendement aussi élevé ne serait-il pas dû au mélange de quelques principes végétaux entraînés par le dissolvant?

L'apparence du produit n'est certainement pas tout à fait celle de la gutta-percha malaise. Celle-ci est fortement mélangée de débris végétaux qui la colorent en rouge, d'une teinte particulière n'appartenant pas en propre à la gutta-percha, mais à laquelle le commerce est habitué. La matière extraite par dissolution ne contient pas ces substances étrangères; elle est plus homogène et plus compacte, semblable par là à la gutta-percha épurée; de plus, étant chargée d'une petite quantité de chlorophylle, elle reçoit de cette dernière une teinte verte marquée. Le nouveau produit aura donc contre lui le préjugé relatif à la couleur. Celle-ci d'ailleurs, n'est pas persistante : si l'on expose à la lumière un pain de gutta-percha verte, immergé dans l'eau pour éviter l'oxydation, la chorophylle se détruit comme elle le fait dans les feuilles tombées et la teinte feuille morte ne tarde pas à remplacer la teinte verte. Il y a plus, les réactifs qui détruisent la chorophylle sans altérer la gutta-percha, permettent

d'éliminer la matière colorante; par exemple, si, avant d'épuiser par le toluène les feuilles pulvérisées, on les imbibe d'une solution alcaline très diluée et qu'on les sèche de nouveau, on obtient de la gutta-percha presque dépourvue de matière colorante. Mais il est inutile d'insister sur cette question de la coloration du produit; elle n'a qu'un intérêt fort limité et, en outre, la matière colorante sera toujours facile à éliminer par un emploi judicieux des dissolvants (*).

Je ne voudrais pas affirmer que les guttas données par le bois, par les jeunes pousses ou par les feuilles aient absolument les mêmes qualités. Les différences sont cependant trop peu marquées pour être reconnues nettement en travaillant des poids de matières premières aussi faibles que ceux dont j'ai pu disposer; elles s'accentuent bien davantage quand on varie les modes d'extraction appliqués à une même matière première; elles ne pourront être valablement constatées qu'à la suite d'opérations industrielles. Le point capital actuellement acquis est la valeur considérable du produit extrait des feuilles au moyen des dissolvants; les importateurs de gutta-percha, auxquels il a été soumis, l'ont évalué aux prix les plus élevés; les personnes compétentes ont été unanimes à le considérer comme étant égal en qualité aux meilleures guttas importées autrefois en Europe. Je crois pouvoir dire que cette opinion a été celle des membres d'une commission d'ingénieurs des postes et télégraphes, qui

(*) A ma connaissance, les dissolvants n'ont guère été utilisés industriellement jusqu'ici pour la purification de la gutta-percha; ils me paraissent cependant susceptibles de rendre de grands services aux fabricants: ils permettent notamment d'écarter les matières résineuses provenant d'une oxydation plus ou moins avancée. Mais c'est là un ordre d'idées que je dois ici me borner à signaler.

m'a fait l'honneur de venir à mon laboratoire examiner la nouvelle méthode d'extraction et les produits qu'elle fournit. Enfin quelques fabricants des plus autorisés ont porté des jugements semblables ; l'un de ces jugements a été précédé d'une analyse et d'études de laboratoire. Sans doute il ne s'agit là que d'un premier examen et des essais industriels pourront seuls établir une opinion définitive. Une déconvenue sur la qualité paraît cependant fort improbable.

Je place sous vos yeux un certain nombre d'échantillons ; ils permettront aux personnes compétentes de se renseigner à ce sujet.

Quelques-uns de ces échantillons montrent en particulier que les feuilles venues sèches, lesquels sont restées exposées à l'air pendant plusieurs mois, ont donné une gutta-percha de très bonne qualité. Mes craintes préconçues de voir l'hydrocarbure de la gutta-percha, c'est-à-dire sa partie essentielle, s'oxyder à l'air pendant les transports, ne se sont justifiées qu'en partie ; elles étaient tout au moins fort exagérées. Sans doute, les feuilles séchées au soleil et expédiées dans des caisses à claire-voie, sans avoir été serrées, c'est-à-dire les feuilles maintenues pendant sept ou huit mois dans les conditions les plus favorables à l'oxydation, donnent une gutta-percha plus riche en résine d'oxydation que celle des feuilles constamment maintenues à l'abri de l'air par immersion dans l'eau ; mais la faiblesse de la proportion de la matière résineuse formée a été pour moi une cause d'étonnement, la grande oxydabilité du produit m'étant connue. Les conditions où se trouve la gutta-percha dans le végétal sont évidemment très favorables à la conservation. Il y a plus : l'oxydation n'a été que très superficielle. Si, en

effet, on lave avec un peu de toluène froid la poudre de ces feuilles longtemps exposées à l'air, le dissolvant leur enlève d'abord la matière résineuse provenant de l'oxydation, de telle sorte que le résidu, laissé par la vaporisation du dissolvant, est surtout formé de résine mélangée de fort peu de gutta-percha; un traitement au toluène tiède enlève ensuite aux feuilles une quantité de gutta-percha de la meilleure qualité. Les feuilles convenablement séchées et expédiées en ballots fortement comprimés seraient évidemment dans de meilleures conditions de conservation que celles dont j'ai disposé. On vient de voir d'ailleurs qu'un commencement d'oxydation ne serait nullement un obstacle à la fabrication de la gutta-percha dépourvue de résine.

Les conditions de préservation offertes par les feuilles au produit qu'elles renferment et plus encore la nature peu résorbable de la gutta-percha posent une question dont l'importance pratique est évidente : les feuilles tombées spontanément de l'*Isonandra*, celle dont le développement continu du végétal jonche constamment le sol de la forêt, les feuilles mortes, en un mot, ne sont-elles pas elles-mêmes chargées de gutta-percha, tout comme celles détachées de l'arbre avant leur jaunissement? J'ai demandé des feuilles mortes à Singapour au mois de mars dernier afin de me renseigner à cet égard; elles ne me sont pas encore parvenues.

Sans s'attarder à des points secondaires, il est permis dès maintenant d'imaginer une exploitation des *Isonandra* dans laquelle les feuilles récoltées et séchées seraient importées en Europe par ballots fortement pressées, puis seraient traitées par des dissolvants. Je vous demande la permission de faire ressortir brièvement les avantages d'une pareille manière d'agir.

La feuille de l'*Isonandra gutta* présente une forme et une apparence toutes spéciales; quand on la connaît, on ne saurait la confondre avec les feuilles d'espèces voisines. Les fabricants pourront donc se soustraire aisément aux sophistications qui altèrent aujourd'hui presque tous les produits importés en Europe.

Ce n'est là cependant, malgré l'intérêt réel qu'il comporte, qu'un petit côté de la question. Le point important est que le nouveau mode d'extraction de la gutta permettra d'assurer à bref délai l'approvisionnement de l'industrie. Quand il aura fait ses preuves, si, comme je l'espère, rien n'est venu troubler les espérances qu'il donne à concevoir, la culture de l'*Isonandra gutta* ne saurait tarder à se développer. Il ne sera plus question d'une culture forestière, à récolte éloignée; il s'agira de produire des feuilles ou des menues branches, c'est-à-dire qu'il s'agira de préparer une récolte très prochaine, que des végétaux jeunes peuvent fournir aussi bien et même beaucoup mieux que les grands arbres. La proximité de la récolte sera pour le cultivateur le meilleur des encouragements. L'initiative privée, ainsi qu'il est arrivé pour la culture des quinquinas, rendra bientôt inutiles les sacrifices pénibles vainement demandés jusqu'ici aux gouvernements.

Ne verra-t-on pas dès lors s'arrêter plus ou moins vite l'exploitation actuelle? Les négociants demandant aux Malais de récolter les feuilles des arbres et non plus de détruire ces végétaux, l'intérêt particulier sera en cela d'accord avec l'intérêt général. Quelques chiffres suffiront à le montrer.

M. Sérullas a récolté les feuilles de plusieurs arbres, les a pesées fraîches et les a pesées de nouveau après

dessiccation. Un arbre de trente ans, tel que ceux pris tout à l'heure pour exemple, fournit de 25 à 30 kilogrammes de feuilles vertes et humides, perdant par dessiccation de 58 à 62 p. 100 d'eau. Un de ces arbres, dépouillé de toutes ses feuilles, donnerait ainsi en moyenne 11 kilogrammes de feuilles sèches. C'est fort peu et il est à présumer qu'une taille appropriée modifierait singulièrement ce chiffre. Quoi qu'il en soit, 11 kilogrammes de feuilles, traitées par les dissolvants, produiraient 1.000 à 1.100 grammes de gutta-percha, alors que l'arbre abattu en donne au plus 265 grammes. Lors donc que les Malais abattent un arbre dont ils exploitent seulement le tronc et les grosses branches, ils laissent perdre sur le sol de la forêt, dans les feuilles et les menues branches, une quantité de gutta-percha égale à plusieurs fois le poids que leur rapporte la pratique actuelle. En cueillant à plusieurs reprises, dans le courant d'une année, les feuilles que le végétal peut perdre sans inconvénient pour son existence, les Malais auront, avec moins de peine, plus de profit qu'en tuant l'arbre, c'est-à-dire en anéantissant par un travail pénible leurs récoltes futures.

Il n'en faudra pas moins compter avec les habitudes actuelles, habitudes trop lucratives pour les intermédiaires, trop favorables à la falsification, pour qu'elles n'apportent pas des obstacles sérieux à toute innovation. Admettons donc que l'exploitation malaise se poursuivra longtemps encore; elle sera cependant rapidement amoindrie dans ses effets destructeurs, puisque la plus grande partie de la gutta-percha, jusqu'ici perdue sur le sol avec les feuilles et menues branches, sera recueillie et utilisée. Il est même permis de penser que les profits ainsi perçus par les indi-

gènes seront un encouragement efficace pour les déterminer à se livrer à la récolte exclusive des feuilles.

Voici un pain de gutta percha commerciale du poids de 265 grammes; il représente ce que fournit au maximum un arbre de trente ans. Or cette substance est, vous le remarquez, fortement mélangée de débris de bois et d'impuretés diverses. C'est là une circonstance dont il serait nécessaire de tenir compte lorsqu'on compare les rendements de la nouvelle méthode à ceux de l'ancienne, puisqu'elle augmente indument les premiers près de 50 p. 100. Je continuerai cependant à la négliger; mon raisonnement n'en sera que plus démonstratif. Pour obtenir ces 265 grammes de gutta-percha, c'est-à-dire un maximum plutôt exagéré, il faudrait environ 2.780 grammes de feuilles sèches, soit un peu moins de 7 kilogrammes de feuilles fraîches. Or l'arbre pris pour exemple en portant constamment de 25 à 30 kilogrammes, il ne paraît pas excessif d'admettre que, durant l'année entière, il sera possible de lui en enlever sans inconvénient 6 ou 7 kilogrammes, soit le quart. Les arbres que nous cultivons pour leurs feuilles, malgré nos hivers qui les immobilisent pendant la moitié de l'année, en fournissent, je crois, une plus forte proportion. On récolterait ainsi en feuilles, chaque année, ce que rapporte, mais une seule fois, la destruction de l'arbre.

Ce n'est pas tout. Les arbres hors d'âge, que leur taille ou leur caducité protègent contre la hache du Malais, portent toujours des feuilles. Actuellement improductifs, ils pourront avec la nouvelle exploitation fournir des poids de gutta-percha considérables.

Beaucoup plus importante encore serait la récolte à obtenir des repousses vigoureuses qui couvrent les

forêts immenses exploitées depuis moins de quinze ans, et dont les jets abondamment chargés de feuilles sont actuellement sans utilité pour la production de la gutta-percha. Les forêts de ce genre reconnues par M. Sérullas seraient susceptibles, par une mise en valeur immédiate, de fournir dès maintenant assez de gutta-percha de la meilleure qualité pour subvenir aux besoins actuels. La récolte ménagée de leurs feuilles, en rendant inutiles les hécatombes malaises, laisserait en outre l'avenir assuré.

Un autre avantage de l'exploitation par les feuilles de gutta-percha doit encore être signalé. C'est, nous l'avons vu, seulement à partir de l'âge de vingt-huit ou trente ans que, devenus adultes, les *Isonandra* commencent à fleurir et à fructifier; on détruit ces végétaux au moment même où ils vont pouvoir assurer la multiplication de l'espèce. En laissant vivre des *Isonandra* adultes, la cueillette des feuilles rendra possible cette multiplication.

En résumé, il est permis de penser que, même dans leur état présent d'épuisement, les forêts de la Malaisie sont, au moyen du procédé nouveau, en état d'alimenter l'industrie européenne et celle des États-Unis, en leur livrant des feuilles d'*Isonandra*. En outre, la perspective de récoltes prochaines ne tardera pas à provoquer les efforts des cultivateurs de l'extrême orient, qui fourniront bientôt plus régulièrement la nouvelle matière première.

Si, comme j'ai tout lieu de l'espérer, les essais industriels confirment les observations du laboratoire, la crainte de manquer de gutta-percha devra disparaître et le problème de la production abondante de cette substance, problème qui a vivement préoccupé l'industrie

en général et les industries électriques en particulier, se trouvera résolu. Je serai très heureux, quant à moi, si mon incursion sur un terrain qui n'est guère le mien m'a permis de contribuer à la réalisation d'un progrès considéré comme très désirable et de participer au développement de l'une des plus brillantes parmi les applications des sciences physiques.

Qu'il me soit permis, en terminant, de rappeler encore une fois la part considérable qu'a prise M. Sérullas dans une étude à laquelle il a seul fait de véritables sacrifices. Il a consacré de nombreuses années à la recherche des plantes à gutta-percha; ce n'est qu'en s'exposant trop longtemps au dangereux climat de la presqu'île malaise qu'il a réussi à élucider les points les plus intéressants de leur histoire, montrant ainsi la réunion trop peu commune des connaissances techniques et des qualités de l'explorateur. C'est à lui incontestablement qu'il faudra rapporter les progrès accomplis dans la question dont je viens d'avoir l'honneur de vous entretenir.

E. Jungfleisch.

ÉTABLISSEMENT

DES TOURELLES TÉLÉPHONIQUES

Les tourelles de concentration des fils téléphoniques doivent :

1° Satisfaire à certaines conditions techniques spéciales relatives à la disposition des fils et des câbles qui les prolongent jusqu'aux paratonnerres ;

2° Résister sans déformation ni rupture aux différents efforts qu'elles peuvent avoir à supporter.

On ne s'est pas toujours préoccupé des questions de solidité et de stabilité. Cependant les forces auxquelles les tourelles sont soumises atteignent quelquefois des valeurs considérables, et si on a négligé de vérifier que toutes les pièces peuvent résister aux efforts maxima qu'elles auront à supporter on s'expose à des accidents. C'est ainsi que plusieurs tourelles se sont infléchies quelque temps après leur construction, soit parce que des fils nouveaux y avaient été amenés en plus grand nombre dans une direction que dans les autres, soit parce que plusieurs fils s'étaient subitement rompus dans une même direction, détruisant ainsi l'espèce d'équilibre qui existait auparavant entre les tractions exercées par l'ensemble des fils. Ces tourelles ont été ensuite consolidées au moyen de haubans s'appuyant sur les maisons voisines; mais on n'a pas toujours réussi à les redresser.

Le but de cette étude est d'exposer une méthode de calcul des divers éléments d'une tourelle et de faire connaître quelques dispositions avantageuses de construction.

Pour que la stabilité d'une tourelle soit assurée, il faut :

1° Que les divers éléments qui la constituent résistent chacun séparément aux forces propres qui leur sont appliquées;

2° Que ces divers éléments résistent encore lorsque aux forces précédentes on ajoute celles qu'ils ont à supporter du fait de leur liaison avec les autres éléments;

3° Que la base sur laquelle la tourelle est assise résiste à l'ensemble des efforts.

Les principales forces qui entrent en jeu sont :

1° La traction exercée par les fils par suite de leur tension ;

2° Le poids dû aux charges permanentes ou accidentelles;

3° L'effort du vent.

TRACTION DES FILS.

On règle la traction des fils au moment où on les pose, de manière que la contraction due à l'abaissement de température maximum, qui peut se produire en hiver, ne puisse faire atteindre à cette tension la limite de rupture. Il peut arriver, cependant, malgré cette précaution, que le givre en s'attachant aux fils, augmente considérablement leur poids et les amène à atteindre la tension de rupture.

Les réactions des fils sur la tourelle doivent être calculées pour ce cas extrême.

Désignons par T_1 la tension de rupture du fil et par P_1 et H_1 les composantes verticale et horizontale de cette tension.

Soit α l'angle que fait avec l'horizontale la tangente à la chaînette au point d'attache sur la tourelle.

On a :

$$P_1 = T_1 \sin \alpha,$$
$$H_1 = T_1 \cos \alpha.$$

Proposons-nous de calculer α.

On sait que $\operatorname{tg} \alpha$ est donnée par l'équation :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a p_1}{2 T_1}$$

où a désigne la portée et p_1 le poids du fil par mètre courant.

Soit f_1 la flèche correspondante :

On a

$$T_1 = p_1 \left(\frac{a^2}{8 f_1} + f_1 \right).$$

On en déduit :

$$p_1 = \frac{T_1}{\frac{a^2}{8 f_1} + f_1}.$$

D'autre part, on a :

$$L_1 - a = \frac{8}{3} \frac{f_1^2}{a}.$$

On en conclut :

$$f_1 = \sqrt{\frac{3}{8} a (L_1 - a)}.$$

Supposons que l'allongement du fil sous la charge de rupture soit de n p. 100.

Appelons L la longueur du fil suspendu dans la

portée, lorsque la tension est normale, et l la longueur de ce fil lorsqu'il n'est soumis à aucune tension.

On peut écrire :

$$L_1 - a = (L_1 - l) - (L - l) + (L - a).$$

La valeur principale de $L_1 - a$ est $L_1 - l$.

En effet, on a :

$$L_1 - l = \frac{nl}{100},$$

et par suite

$$L_1 - l > \frac{an}{100}.$$

On voit que pour $a = 100$, dès que n dépasse 1, $L_1 - l$ est supérieure à l'unité.

Au contraire $L - l$, allongement du fil sous une tension notablement inférieure à la limite d'élasticité est négligeable.

Il en de même de $L - a$ qui, pour les tensions couramment adoptées et les portées de 100 mètres environ, atteint à peine quelques centimètres.

On peut donc admettre avec une approximation suffisante :

$$L_1 - a = L_1 - l = \frac{an}{100}.$$

Il en résulte :

$$f_1 = \frac{a}{10}\sqrt{\frac{3}{8}n},$$

et par suite :

$$p_1 = \frac{8 f_1 T_1}{a^2},$$

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{4 f_1}{a}.$$

On déduit de ces formules le tableau suivant, correspondant à une portée de 100 mètres pour un fil de

cuivre de 15/10 de millimètre (*) et une tension de rupture de 120 kilogrammes.

n	f_1	α	H	P
		degrés	kilog.	kilog.
1	6,08	13	116	26
2	8,66	19	112	38
3	10,58	23	110	46
4	12,24	26	108	51
5	13,60	28	105	56
6	15,00	31	102	61
7	16,18	33	99	64
8	17,32	35	97	68
9	18,35	36	96	70
10	19,36	38	94	73

On voit que lorsque le coefficient d'allongement du fil sous la tension de rupture augmente, la tangente à la chaînette au point d'attache s'abaisse ; la composante horizontale diminue, et la composante verticale augmente, mais l'effort résultant total appliqué reste le même et égal à la tension de rupture.

Il est facile de voir que le moment de la résultante par rapport au plan de base BB_1 de la tourelle, c'est-à-dire le moment de renversement dû à la traction des fils, diminue à mesure que l'angle α augmente.

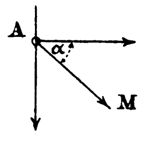


Fig. 1.

Il y a donc intérêt pour la sécurité d'une tourelle dans un cas de givre où la tension des fils dépasse leur limite d'élasticité, ou atteint presque la tension de rup-

(*) Il nous semble préférable d'adopter dans les calculs ce diamètre vers lequel on semble tendre. Il ne peut en résulter qu'un surcroît de sécurité si les appuis n'ont à supporter que des conducteurs de 11/10, comme ceux employés généralement en France jusqu'ici.

ture, à ce que l'allongement des fils sous la charge de rupture soit le plus grand possible.

En résumé, on peut admettre que chaque fil exerce sur la tourelle au point d'attache deux efforts : l'un vertical P; l'autre horizontal H, situé dans le plan vertical qui passe par le fil.

Force verticale. — La force verticale P n'est autre chose que la moitié du poids du fil correspondant à la portée qui aboutit à la tourelle. Cette force est assez faible à l'état ordinaire, mais, par les temps de verglas, elle peut acquérir une valeur considérable.

C'est ainsi que, pour un allongement de 1 p. 100, elle dépasse 26 kilogrammes, et pour un allongement de 5 p. 100 elle dépasse 56 kilogrammes. On impose aujourd'hui aux fournitures de fil de cuivre un maximum d'allongement de 1 p. 100 au moment de la rupture, mais il n'est pas certain qu'on maintienne cette obligation et il est prudent de prévoir une charge verticale de 50 kilogrammes par fil. Cette prévision paraît suffisante, car il faut compter qu'un certain nombre de fils rompraient sous le givre avant d'atteindre exactement la tension de 120 kilogrammes.

Dans cette hypothèse, on voit qu'une tourelle de 1.000 fils seulement pourrait avoir à supporter, par suite du givre, une surcharge de 50.000 kilogrammes.

Force horizontale. — La force horizontale H ne dépasse pas 20 kilogrammes à l'état ordinaire, mais elle peut atteindre jusqu'à 120 kilogrammes en temps de givre. Ainsi un montant vertical, portant 30 fils, peut avoir à supporter du chef de la tension des fils un effort horizontal de 3.600 kilogrammes. La résultante des efforts appliqués ainsi aux divers montants

d'une tourelle varie avec le nombre de fils qui sont attachés aux montants et avec la tension de ces fils.

La valeur maximum de cette résultante correspond évidemment au cas où tous les fils situés d'un même côté d'un plan diamétral seraient seuls à solliciter la tourelle, les autres se trouvant rompus par suite de verglas ou d'autres causes. Il est très improbable qu'une telle circonstance puisse se présenter; mais cela est néanmoins possible. En effet, lorsque les fils se rompront en grand nombre dans certaines circonstances atmosphériques, les ruptures ne se produiront pas également dans toutes les portées qui arrivent à la tourelle; l'état des fils, à ce moment, leur exposition particulière qui les rend plus ou moins sujets à l'action du vent ou du verglas, exerceront une influence considérable. Il est donc prudent de calculer la tourelle pour qu'elle résiste même dans ce cas exceptionnel.

Pour évaluer la grandeur de la résultante, prenons le cas où les isolateurs sont répartis sur n montants, disposés symétriquement sur la surface, de manière que les plans menés par l'axe et deux montants voisins fassent entre eux un angle constant égal à $\frac{2\pi}{n}$. C'est le cas où la tourelle affecte la forme d'un cylindre ou d'un prisme polygonal régulier.

On voit facilement que cette résultante est la somme des projections des différentes forces appliquées aux montants, sur une direction perpendiculaire au plan considéré.

Si q est le nombre de fils arrivant à un montant, on a pour la valeur de cette force :

$$F = 120 \times q \left[\sin \frac{2\pi}{n} + \sin \frac{4\pi}{n} + \sin \frac{6\pi}{o} + \ldots + \sin \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \frac{2\pi}{n} \right].$$

si n est pair, et

$$F = 120 \times q \sin\left(\frac{2\pi}{n} + \dots + \sin\frac{n-1}{2}\,\frac{2\pi}{n}\right).$$

si n est impair.

Si en somme cette suite de *sinus* d'arcs en progression arithmétique d'après la formule connue,

$$\sin\alpha + \sin(\alpha + r) + \sin(\alpha + 2r) \dots + \sin(\alpha + pr)$$
$$= \frac{\sin\left(\alpha + \frac{pr}{2}\right)\sin\overline{p+1}\,\frac{r}{2}}{\sin\frac{r}{2}},$$

il vient :

$$F = \frac{120 \times q \sin\left(\frac{n}{2} - 1\right)\frac{\pi}{n}}{2 \sin\frac{\pi}{n}}$$

et

$$F = \frac{120 \times q \times \sin\left(\frac{n-1}{2}\right)\frac{\pi}{n}\sin\frac{n+1}{2}\,\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}}.$$

Dans le cas où $n = 30$ et $q = 30$ c'est-à-dire dans le cas d'une tourelle de 900 fils, on a :

$$F = 3.600 \times \frac{\sin 84^\circ}{\sin 86^\circ},$$

soit très sensiblement $F = 32.000$ kilogrammes.

On voit que la résultante, due à la traction des fils, peut produire un effort de renversement très considérable sur la tourelle.

Le calcul approximatif de cette résultante peut se faire rapidement, d'une manière générale, par la méthode suivante qui en donne une valeur un peu trop forte mais suffisamment approchée lorsque le nombre de montants est au moins égal à 30. Désignons par φ

la somme arithmétique des valeurs des tractions exercées sur les différents montants. Admettons que ces efforts soient répartis d'une manière continue dans les divers azimuts; l'effort appliqué dans l'unité d'angle sera $\frac{\varphi}{\pi}$; l'effet appliqué dans un angle élémentaire dx sera par suite $\frac{\varphi}{\pi}\,dx$.

On aura donc :

$$F = \int_0^\pi \frac{\varphi}{\pi} \sin x \, dx,$$

ou

$$F = \frac{2}{\pi} \times \varphi.$$

En appliquant cette formule au cas particulier précédent, on trouve

$$F = \frac{2}{\pi} \times 3.600 \times 15$$

ou très sensiblement

$$F = 34.000^{kg},$$

c'est-à-dire une valeur supérieure de $\frac{1}{16}$ à la valeur vraie.

Poids dû aux charges permanentes et accidentelles. — Les efforts verticaux appliqués à la tourelle en dehors du poids des fils sont :

Le poids propre de la tourelle, le poids des matériaux qu'on peut y déposer et des ouvriers qui peuvent avoir à y travailler, enfin la surcharge due à l'accumulation de la neige, surcharge pour laquelle il faut prévoir dans nos climats une valeur d'environ 50 kilogrammes par mètre carré de surface exposée à l'accumulation.

Effets du vent. — Admettons que l'effort maximum du vent sur une surface qu'il attaque normalement soit de 300 kilogrammes par mètre carré.

Lorsque la direction du vent fait un angle α avec la surface attaquée, le maximum de l'effort est de $300^{kg} \times \sin \alpha$.

Considérons séparément l'effort du vent : 1° sur la tourelle proprement dite, c'est-à-dire sur les isolateurs, les consoles et les pièces qui la constituent ; 2° sur les fils.

Nous supposons que le vent attaque horizontalement la tourelle ; c'est d'ailleurs le cas le plus défavorable. L'effort du vent sur la tourelle proprement dite s'obtient en projetant les divers éléments de la tourelle sur un plan perpendiculaire à la direction du vent et en considérant la surface ainsi obtenue comme attaquée normalement. Pour une tourelle de 900 fils, cette surface dépasse 10 mètres carrés ; l'effort dépasse donc 3.000 kilogrammes.

La valeur maximum de l'effort développé par le vent sur un fil de diamètre d et de portée l est :

$$300 \times l \times d \times \sin \alpha^{kg},$$

α étant l'angle que fait la direction du vent avec la direction du fil. Cet effort se répartit par moitié entre le point d'attache du fil sur la tourelle et le point d'attache sur le premier poteau en ligne.

L'effort maximum sur la tourelle se réduit donc à

$$150 \times l \times d \times \sin \alpha^{kg},$$

soit pour un fil de 15/10 de millimètre et une portée de 100 mètres

$$22,5 \sin \alpha.$$

Donc, pour un montant vertical supportant 30 fils de 15/10 de millimètre, avec une portée de 100 mètres, l'effort dû aux fils peut acquérir une valeur de 675 kilogrammes.

Considérons maintenant une tourelle formée de n montants verticaux supportant chacun q fils. Désignons par α l'angle que fait le plan vertical qui contient les fils arrivant à un montant avec la direction du vent. Le maximum de l'effort total appliqué à la tourelle par suite de l'action du vent sur les fils est

$$F = 150 \times l \times d \times q \Sigma \sin \alpha.$$

Pour calculer cet effort, supposons, comme on l'a fait précédemment, que les n montants soient disposés symétriquement sur la surface de la tourelle et que la direction du vent coïncide avec la direction d'une des portées du fil, on a

$$F = 150 \times l \times d \times q \times 2 \times \left(\sin \frac{2\pi}{n} + \sin 2\frac{2\pi}{n} + \ldots + \sin \frac{n}{2} \times \frac{2\pi}{n}\right)$$

si n est pair et

$$F = 150 \times l \times d \times q \times 2 \times \left(\sin \frac{2\pi}{n} + \sin 2\frac{2\pi}{n} + \ldots + \sin \frac{n-1}{2} \frac{2\pi}{n}\right)$$

si n est impair.

En effectuant les opérations indiquées dans les parenthèses, ces formules deviennent :

$$F = 150 \times l \times d \times q \times 2 \times \frac{\sin\left(\frac{n}{2} + 1\right)\frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}}$$

dans le premier cas, et

$$F = \frac{150 \times l \times d \times q \times 2 \times \sin \frac{n-1}{2} \frac{\pi}{n} \times \sin \frac{n+1}{2} \frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}}$$

dans le second cas.

Dans le cas où $n = 30$ et $p = 30$, on a pour des fils de 15/10 de millimètre avec une portée moyenne de 100 mètres :

$$F = 1.350 \times \frac{\sin 84^\circ}{\sin 6^\circ},$$

soit très sensiblement

$$F = 1.200^{kg}.$$

On voit que cet effort dépasse le tiers de l'effort maximum résultant de la traction des fils.

Il résulte des considérations qui précèdent que la réaction totale d'un fil sur la pièce à laquelle il est attaché est la résultante de la tension du fil et de l'effort développé par le vent sur ce fil. Cette réaction peut se décomposer en deux : l'une horizontale λ, l'autre verticale P. Nous avons montré comment on calcule P. Pour calculer la valeur de λ, on composera la réaction due à l'effort du vent avec la composante horizontale de la tension.

FORMULES GÉNÉRALES DE CALCUL.

Une tourelle téléphonique constitue une pièce encastrée à sa base et libre à son extrémité supérieure.

Elle est au point de vue de la résistance et de la stabilité composée : 1° d'un certain nombre de pylônes dont les axes longitudinaux se prolongent sur toute sa hauteur. Ces pylônes travailleront au moment de flexion; 2° de pièce de contreventement destinées à former une triangulation qui assure la rigidité du système. Ces pièces sont des entretoises et des écharpes obliques; elles travailleront à l'effort tranchant.

Les tourelles peuvent se partager en deux catégories, savoir :

(A) Celles dans lesquelles les pylones ne portent pas d'isolateurs, mais reçoivent les réactions des pièces qui portent les isolateurs.

(B) Celles dans lesquelles les pylones portent les isolateurs.

(A) Les isolateurs sont fixés soit sur des traverses horizontales, soit sur des montants verticaux, soit sur des pièces quelconques.

Ces pièces sont assemblées sur les pylones, et les efforts qui leur sont appliqués sont reportés aux points d'attache avec les pylones.

La carcasse de la tourelle supporte ainsi tous les efforts.

Le calcul des pièces portant les isolateurs est très simple; ces pièces doivent seulement résister aux efforts individuels qu'elles supportent.

Soit AB une pièce de longueur l assemblée en A et B avec les pylones. Bien qu'elle soit assemblée au moyen de boulons ou de rivets avec les pylones, nous la calculerons comme si elle était simplement posée sur deux appuis en A et B. Elle résistera par suite, *a fortiori*, avec les demi-encastrements qu'elle peut avoir à ses deux extrémités.

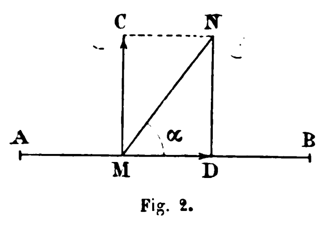


Fig. 2.

Supposons que cette pièce porte n isolateurs; un fil quelconque attaché en un point M développe sur la pièce une réaction MN.

Soient : λ la grandeur de cette réaction, α l'angle que fait sa direction avec l'axe de la pièce; x et

y les distances du point M aux extrémités A et B.

Décomposons la force MN en deux : l'une MC perpendiculaire à l'axe de la pièce, l'autre MD dirigée suivant cet axe.

Nous supposerons que les réactions des fils attachés entre A et B soient toutes parallèles entre elles.

Le moment fléchissant en A dû aux composantes perpendiculaires à AB est donné par la formule

$$M = \Sigma \lambda x \sin \alpha$$

et le moment fléchissant en B dû aux mêmes forces par

$$M' = \Sigma \lambda y \sin \alpha.$$

Ces moments seront égaux si les isolateurs sont symétriquement répartis entre A et B.

Soit I le moment d'inertie de la pièce par rapport à une ligne droite perpendiculaire à la direction CM menée par le centre de gravité de la section droite ; v la distance qui sépare du centre de gravité la fibre la plus éloignée de cette section ; la valeur du travail moléculaire R_1 subi par la fibre considérée par suite du moment fléchissant est donnée par la formule

$$R_1 = \frac{M}{8} : \frac{I}{v}.$$

Les composantes parallèles à AB tendent à comprimer le métal.

La valeur du travail moléculaire supporté par chaque fibre par suite de cette compression est

$$R_2 = \frac{\Sigma \lambda \cos \alpha}{\omega}$$

ω étant la section du montant.

La valeur totale du travail moléculaire subi par la

pièce AB est donc :

$$R_1 = \frac{\Sigma\lambda x \sin\alpha}{\frac{I}{v}} \pm \frac{\Sigma\lambda\cos\alpha}{\omega}.$$

Le signe $\pm$ s'applique aux fibres situées d'un ou de l'autre du plan mené par l'axe AB perpendiculairement à MN.

Le travail total de la fibre la plus fatiguée est donc :

$$R_m = \frac{\Sigma\lambda x \sin\alpha}{\frac{I}{v}} + \frac{\Sigma\lambda\cos\alpha}{\omega}.$$

A cette valeur de R_1 il faudrait encore ajouter le travail dû à l'effort du vent sur la pièce. Ce travail se calculerait exactement de la même manière que le travail dû aux réactions des fils ; mais il est négligeable par rapport au précédent.

On devra choisir le profil de la pièce pour que Rm soit inférieur à 6 kilogrammes par millimètre.

Les réactions de la pièce AB sur le pylône seront deux forces parallèles à MN et égales chacune à $\frac{\Sigma\lambda}{2}$ appliquées aux points A et B.

Supposons maintenant qu'entre nœuds de triangulation I et J, c'est-à-dire entre deux points d'où partent des entretoises horizontales et des écharpes obliques, un pylône CD reçoive un certain nombre de pièces telles que la pièce précédente AB.

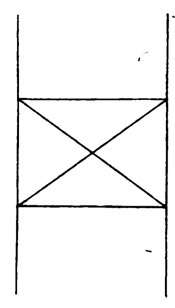


Fig. 3.

Le travail moléculaire particulier imposé à ce pylône entre I et J par les réactions des pièces portant isolateurs qui sont fixées sur lui et par

les efforts directs du vent sur la partie IJ, se calculera de la même manière que pour la pièce AB.

A ce travail il faut, pour avoir le travail total du pylone, ajouter celui qui provient de sa liaison à l'ensemble de la tourelle.

Considérons maintenant l'ensemble de la tourelle réduite à ses pylônes et à ses pièces de contreventement.

A chaque nœud de contreventement tel que I ou J est appliquée une force résultant des réactions des pièces qui portent les isolateurs et des efforts directs du vent sur les parties du pylône qui aboutissent au nœud considéré. Cherchons à calculer les forces intérieures qui sollicitent une section horizontale donnée HH′ de la tourelle.

A cet effet, considérons les diverses résultantes situées au-dessus du plan HH′.

Nous admettrons que la tourelle possède, en ce qui concerne les pylônes, deux plans de symétrie verticaux.

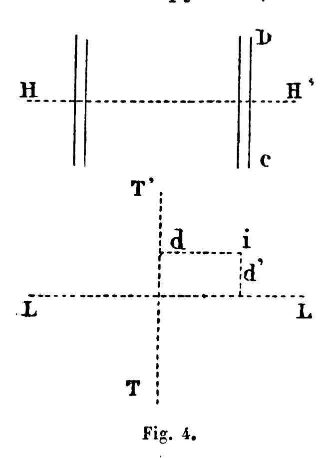


Fig. 4.

Soient LL′ et TT′ ces deux plans. Considérons un pylone projeté horizontalement en *i* et verticalement suivant DC.

Décomposons chaque résultante en deux forces : l'une verticale *f*, et l'autre horizontale *h*.

L'ensemble des forces *f* n'est pas, en général, réparti uniformément sur la tourelle de manière que la résultante φ passe par l'axe de la tourelle.

Soit EU cette résultante.

Si elle n'est pas dirigée suivant l'axe de la tourelle, on peut la remplacer par un système formé d'une force HK égale à φ, dirigée suivant l'axe et d'un couple EU, HS dont le moment est $\varphi \times$ EH. Il en résulte que les charges dissymétriques imposées à la tourelle peuvent être considérées comme donnant lieu :

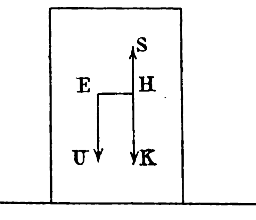


Fig. 5.

1° A une charge uniformément répartie sur tous les pylônes ;

2° A un couple de renversement ou de flexion ;

La charge uniformément répartie s'ajoutera aux autres charges analogues que supporte la tourelle pour former un effort total F qui sera réparti uniformément sur chaque pylône.

Pour calculer le couple de flexion, on déterminera le centre de gravité, du système formé de masses proportionnelles aux charges dissymétriques supportées par les pylônes et appliquées aux sommets du polygone formé par les points de rencontre des pylônes avec le plan HH′. La distance de ce centre de gravité à l'axe de la tourelle sera le bras de levier du couple. La valeur de la force sera la somme des charges dissymétriques.

Le couple peut être remplacé par un système formé de deux coupes x et y situés dans les deux plans de symétrique LL′ et TT′.

On voit de même que chaque force horizontale h peut être décomposée en deux forces également hori-

zontales et dirigées : l'une suivant le plan TT', l'autre suivant le plan LL'.

Chacune de ces composantes peut être remplacée par un système formé :

1° D'une force égale et parallèle située dans le plan HH';

2° D'un couple de flexion situé dans le plan de symétrie correspondant et dont le moment est égal au moment de la force par rapport au plan HH'.

On appliquera cette décomposition aux différentes forces horizontales appliquées aux nœuds de contreventement.

Soit h_x, une des composantes de h suivant le plan LL' située à une distance l du plan HH'.

Le couple de flexion correspondant est

$$h_x\, l.$$

Le couple de flexion résultant dû aux composantes situées à différentes hauteurs au-dessus du plan HH', sera

$$\Sigma\, h_x\, l.$$

Si les forces sont réparties d'une façon uniforme dans n plans différents situés au-dessus du plan HH', le couple de flexion précédent devient

$$l_1\, \Sigma\, h_x.$$

l_1 étant la distance au plan HH' du centre de gravité de la partie de la tourelle située au-dessus de ce plan.

Les couples de flexion résultant des forces horizontales s'obtiendront donc, le plus généralement, en faisant la somme arithmétique des forces et en multipliant la valeur obtenue par la hauteur au-dessus du plan HH' du centre de gravité de la partie de la tourelle où sont appliquées ces forces.

Il résulte de là, que les forces intérieures qui sollicitent la section horizontale HH′ de la carcasse de la tourelle peuvent être ramenées à un système composé :

1° D'un effort normal F dirigé suivant l'axe vertical de la tourelle;

2° D'un moment fléchissant X représenté par un couple situé dans le plan de symétrie LL′;

3° D'un moment fléchissant X′ représenté par un couple situé dans le plan de symétrie TT′;

4° D'un effort tranchant V dirigé suivant l'intersection du plan HH′ et du plan de symétrie LL′;

5° D'un effort tranchant V′ dirigé suivant l'intersection du plan HH′ et du plan TT′.

Considérons un montant DC.

Soit ω l'aire de sa section droite dans le voisinage d'un plan horizontal HH′ pris arbitrairement.

Désignons par d la distance horizontale du centre de gravité de la section ω au plan de symétrie TT′ le moment d'inertie de cette section par rapport à ce plan ωd^2.

Soit enfin σ l'aire de la section droite d'une pièce de contreventement rencontrée par le plan HH′ et α l'angle que fait l'axe de cette pièce avec le plan TT′.

Posons

$$\Omega = \Sigma\omega,$$
$$I = \Sigma\omega d^2.$$

et

$$A = \Sigma\sigma \sin\alpha.$$

Opérons de même pour le plan L et L′.

On a :

$$I' = \Sigma\omega d'^2,$$
$$A' = \Sigma\sigma \sin\alpha'.$$

La valeur du travail moléculaire R subi par un

pylône quelconque, défini par les distances d et d' du centre de gravité de la section aux plans TT′ et LL′, sera donnée par la formule

$$R = \frac{F}{\Omega} \pm \frac{Xd}{I} \pm \frac{X'd'}{I'}.$$

Les doubles signes fourniront pour R quatre valeurs différentes qui se rapportent aux quatre pylônes placés symétriquement de part et d'autre des deux plans de symétrie.

En examinaut les sens dans lesquels agissent les moments de flexion on se rendra compte des signes à attribuer pour un pylône déterminé à $\frac{Xd}{I}$ et $\frac{X'd'}{I'}$.

Un des quatre pylônes sera nécessairement plus fatigué que les trois autres.

Ce sera celui pour lequel $\frac{F}{\Omega}$, $\frac{Xd}{I}$ et $\frac{X'd'}{I'}$ auront leurs valeurs numériques précédées du même signe. $\frac{Xd}{I}$ passe par un maximum quand d atteint sa valeur limite $\frac{r}{2}$, qui se rapporte aux pylônes les plus écartés du plan de symétrie TT′. De même $\frac{X'd'}{I'}$, atteint son maximum quand d' atteint sa valeur limite $\frac{r}{2}$. En ajoutant au travail ainsi obtenu le travail particulier de chaque montant, on obtiendra le travail total R_t de ce montant.

STABILITÉ DES PIÈCES DE CONTREVENTEMENT.

Il n'est pas possible de se rendre un compte exact du travail subi par une barre de contreventement

déterminée sans faire intervenir les formules de la déformation, ce qui compliquerait singulièrement les recherches.

Mais le travail moyen des barres de contreventement est donné par la formule :

$$R = \sqrt{\frac{V^2}{A^2} + \frac{V'^2}{A'^2}}.$$

Il suffira que R soit sensiblement inférieur à la valeur moyenne des limites pratiques de résistance admises pour les différentes barres, considérées chacune en particulier, pour que la stabilité soit assurée.

On devra vérifier *a posteriori* qu'aucune des barres en particulier ne peut flamber sous les efforts de compression.

(B). Les pylônes sont constitués par des montants verticaux qui portent des isolateurs. Ces montants sont fixés à différentes hauteurs sur des ceintures horizontales qui les réunissent entre eux. Les pièces de contreventement sont assemblées sur les ceintures.

Les nœuds de contreventement, situés sur les différentes ceintures, sont répartis suivant des lignes verticales.

Supposons qu'il y ait n montants entre deux lignes de contreventement voisines. On peut admettre, sous la condition que ces lignes verticales soient en nombre suffisant ; que les n montants les plus rapprochés, à droite et à gauche de chaque ligne de contreventement, constituent un pylône dont la section soit égale à n fois la section d'un montant. La carcasse de la tourelle se réduit alors à autant de pylônes qu'il y a de lignes verticales de contreventement, et on est ramené au cas A.

Calcul des montants. — On calculera d'abord le travail moléculaire d'un montant dû aux fils qu'il supporte entre deux ceintures consécutives; puis on calculera le travail moléculaire du pylône idéal formé par les montants voisins. En ajoutant les résultats obtenus, on aura le travail moléculaire total d'un montant.

Calcul des barres de contreventement. — Le calcul des barres de contreventement se fera exactement de la même manière que dans le cas A.

Calcul des ceintures. — Pour calculer une ceinture, on considérera la fraction de cette ceinture placée entre deux nœuds de contreventement voisins, comme une pièce posée sur deux appuis et supportant les réactions des montants qui sont assemblés avec elle.

Cette méthode de calcul suppose que le nombre des lignes verticales de contreventement soit assez grand pour que les montants, qu'on groupe ainsi en un pylône unique, occupent une faible partie de la tourelle. On est sûr alors qu'ils travaillent comme les différentes fibres d'une même poutre.

S'il n'en était pas ainsi, le montant le plus près de la ligne de contreventement ne serait pas suffisamment aidé par les autres pour la résistance au moment fléchissant, et il supporterait de ce chef un travail beaucoup plus considérable que celui qui résulte du calcul.

Lorsque les montants de la tourelle seront en nombre suffisant et répartis symétriquement sur la surface de cette tourelle, il arrivera le plus généralement qu'un plan quelconque passant par l'axe sera un plan de symétrie. Dans ce cas, au lieu de deux plans verticaux LL' et TT', on considérera seulement le plan

vertical perpendiculaire à la résultante des forces horizontales appliquées à la tourelle.

Fixation de la tourelle sur son soubassement. — Les réactions d'une tourelle sur son soubassement se composent :

1° Des réactions verticales des pylônes par suite du moment fléchissant ;

2° Des réactions horizontales de ces pylônes par suite de l'effort tranchant.

La réaction verticale d'un pylône sur le soubassement est $R_t \times \omega$.

Cette réaction a une valeur positive ou négative suivant que le pylône travaille à presser sur la base ou qu'il travaille à la soulever.

La réaction due à l'effort tranchant tend à faire glisser les pylônes contre le soubassement. Elle se partage également entre les divers pylônes si leurs pieds sont convenablement reliés entre eux à la base de la tourelle.

La liaison d'un pylône doit être faite de manière que cette double réaction soit détruite par la résistance du soubassement.

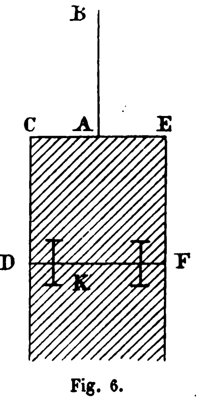


Fig. 6.

Si le pylône presse sur le soubassement, on le fixera simplement au moyen de boulons d'ancrage ou par tout autre système empêchant le glissement.

Si le pylône tend, au contraire, à soulever le soubassement, on le fixera de telle manière que l'effort développé soit détruit par un poids supérieur intéressé au soulèvement.

Ainsi, si un pylône A B, fixé sur un mur, développe

une réaction négative de 10.000 kilogrammes, on logera dans ce mur un poitrail K, qu'on reliera au pylône au moyen d'armatures ou tirants, tels que CD et EF, et de traverses telles que AE et AC.

On choisira la longueur du poitrail, le nombre et la longueur des tirants pour que le poids de maçonnerie, que le pylône tend à soulever, soit supérieur à 10.000 kilogrammes. On calculera, par les procédés connus, les profils du poitrail, des tirants et des traverses, de manière que le travail moléculaire de chacune de ces pièces soit inférieur à 6 kilogrammes.

STABILITÉ DU SOUBASSEMENT.

Effet du moment fléchissant. — Nous avons vu que la réaction d'un pylône sur la base de la tourelle à laquelle il est fixé est

$$R_t \times \omega,$$

R_t étant le travail moléculaire total imposé au pylône par suite du moment fléchissant et ω sa section.

Cette réaction est dirigée de bas en haut ou de haut en bas, suivant que la valeur numérique de R_t est précédée du signe $+$ ou du signe $-$. Dans le premier cas, le pylône exerce un effort de compression sur le soubassement; dans le second, il exerce au contraire un effort de soulèvement.

Le moment fléchissant a donc pour effet de développer sur le soubassement un certain nombre de réactions verticales appliquées aux pieds des pylônes. Ces efforts sont transmis à travers la masse du soubassement jusqu'aux fondations.

Effet de l'effort tranchant. — L'effort tranchant dé-

veloppe dans le plan de liaison de la tourelle, avec le soubassement, une force F qui tend à faire glisser la base de la tourelle contre le plan supérieur du soubassement.

Supposons la liaison assurée entre la base de la tourelle et le soubassement ABCD.

Le soubassement devra résister à l'action d'une force BL égale à l'effort tranchant et appliquée dans le plan AB. Pour analyser les effets de cette force,

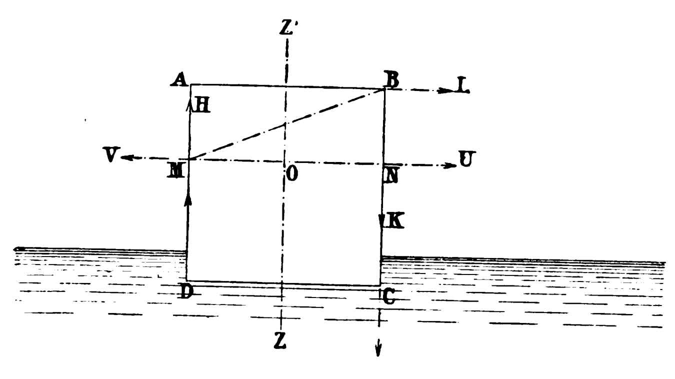


Fig. 7.

considérons une assise quelconque MN. La force F peut être remplacée par un système composé : 1° d'une force NU égale et parallèle à BL, appliquée dans le plan MN ; 2° d'un couple formé des deux forces BL et MV.

La force NU tend à cisailler la masse de maçonnerie suivant le plan MN pour faire glisser la partie MNAB contre la partie inférieure. Soit S la surface de la section MN, $\frac{F}{S}$ représente l'effort de cisaillement, par unité de surface, qui se produit dans cette assise. — Si $\frac{F}{S}$ est

inférieur à la limite pratique de résistance admise pour les matériaux qui constituent le soubassement, il n'y aura pas rupture suivant le plan MN. Le couple tend à faire tourner la partie MNAB autour de l'arête N; il doit être équilibré par le moment résistant des poids de la masse MNAB.

Soient :

h la distance du plan AB au plan MN;
e la demi-largeur ON du soubassement;
ϖ le poids du soubassement supposé homogène par mètre courant de hauteur.

Écrivons que le moment du poids de la masse MNAB, par rapport à l'arête N, est supérieure au moment de renversement autour de la même arète dû à l'effort tranchant.

On a :

$$\varpi \times h \times e > F \times h.$$

ou

$$\varpi > \frac{F}{e}.$$

Si cette inégalité n'était pas vérifiée, la masse MNAB tendrait à tourner autour de l'arête N en se détachant de la partie MNCD, et le mouvement ne pourrait être empêché que par la résistance de la matière à un effort d'extension. Or, on sait qu'on ne peut jamais compter sur la résistance de la maçonnerie à l'arrachement.

La condition $\varpi > \frac{F}{e}$ est donc une condition nécessaire; elle est indépendante de h et, par suite, si elle est satisfaite pour une assise, elle le sera pour toutes les autres. Cherchons les réactions produites par le couple sur l'arète N que nous avons supposée fixe

dans le raisonnement qui précède. A cet effet, transformons le couple BL, MV en un couple équivalent formé de deux forces verticales NK et NH appliquées aux points M et N.

La valeur de ces forces est donnée par l'équation :

$$x \times 2e = F \times h.$$

La force NK développe un effort de compression sur la partie inférieure MNCD, la force MH au contraire tend à soulever l'arête M; mais elle est détruite par le poids de la masse ABMN. Si on applique le même raisonnement au plan des fondations, on voit que l'effet de l'effort tranchant sur celles-ci est de développer suivant l'arête C une surcharge égale à $\frac{F \times h}{2e}$ en même temps qu'un effort de déplacement longitudinal.

En pratique, on peut admettre que la surcharge s'applique sur la moitié ZC de la fondation.

Cette surcharge s'ajoute à la surcharge qui résulte des réactions verticales des pylônes et à la charge normale qui provient de la construction elle-même. On devra vérifier que la pression qui en résulte n'excède pas la limite de résistance qu'offre le sol sur lequel reposent les fondations. Dans cette hypothèse, le couple sera détruit par la résistance du sol à la compression et l'effort de déplacement longitudinal par la résistance du terrain qui entoure les fondations.

Nous avons supposé pour le calcul de stabilité du soubassement qu'on avait affaire à une masse continue indéformable sous l'action des forces intérieures qui la sollicitent.

C'est ainsi qu'on a pu remplacer légitimement soit

une force par un système formé d'une force égale et d'un couple, soit un couple par un couple équivalent.

S'il n'en était pas ainsi, on devrait pour pouvoir appliquer la condition $\varpi > \frac{F}{e}$ vérifier que l'ensemble du soubassement est indéformable, sauf, si cela est nécessaire, à établir entre les différentes parties du soubassement des liaisons supplémentaires telles qu'on puisse en toute légitimité faire les transformations de forces qui sont nécessaires.

Si, par exemple, on est assuré : 1° qu'il y a suivant la direction MB une liaison telle que la matière résiste à un effort d'extension égal à la force qu'on obtient en projetant la force BL suivant la direction MB; 2° que la matière peut résister suivant le plan MN à un effort d'extension égal à BL, on sera certain que l'ensemble du soubassement se comportera au point de vue de la stabilité comme une masse continue.

Considérons le cas assez fréquent d'une tourelle assise sur deux murs de refend reliés au sommet par une plate-forme. On ne peut admettre que les deux murs travaillent solidairement à résister à l'effort de renversement en se comportant comme un système solide.

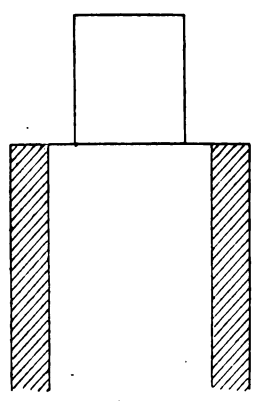


Fig. 8.

Il serait nécessaire, quand bien même les deux murs seraient reliés de distance en distance par des planchers de les relier encore par des écharpes obliques calculées pour résister aux efforts qui se produisent suivant leurs directions.

S'il n'était pas possible d'introduire ces écharpes, on devrait considérer chaque mur comme travaillant isolément. La plate-forme de tête aurait simplement pour effet de répartir l'effort tranchant par moitié entre eux.

Dans le cas où la résultante qui constitue l'effort tranchant se trouverait dirigée perpendiculairement à l'axe longitudinal des murs, le bras de levier du moment résistant, ayant pour longueur la demi-épaisseur du mur, le moment résistant serait très faible et généralement insuffisant. Il faudrait pour détruire l'effort tranchant adapter des arbalétriers qui reporteraient cet effort sur une autre partie du bâtiment dont font partie les murs de refend.

Si la tourelle repose sur les fermes de la toiture d'un bâtiment, on devra analyser les réactions développées sur les fermes et vérifier que la toiture est en état de résister.

L'étude d'une tourelle téléphonique dépend en général de conditions particulières et, suivant les cas, on adoptera tel ou tel mode de construction.

Quand on a arrêté le nombre maximum de fils que doit pouvoir porter la tourelle, on fixe la distance minimum d qui doit séparer deux fils voisins.

Cette distance étant fixée, on doit se préoccuper de réduire au minimum les dimensions de la tourelle qui prennent des proportions considérables dès que le nombre des fils dépasse 800 à 900.

Le nombre des fils qu'on peut mettre sur une tourelle donnée, dépend :

1° De la surface latérale de la tourelle ;

2° De l'armement de la tourelle, c'est-à-dire de la



façon dont les isolateurs sont répartis sur cette surface latérale.

L'armement le plus avantageux, c'est-à-dire celui qui permet de mettre sur une surface latérale donnée le nombre maximum d'isolateurs, s'obtient en distribuant ceux-ci de manière que chacun d'eux soit le centre d'un hexagone de côté *d* ayant pour sommets les six isolateurs voisins. On arrive ainsi au pavage en hexagones.

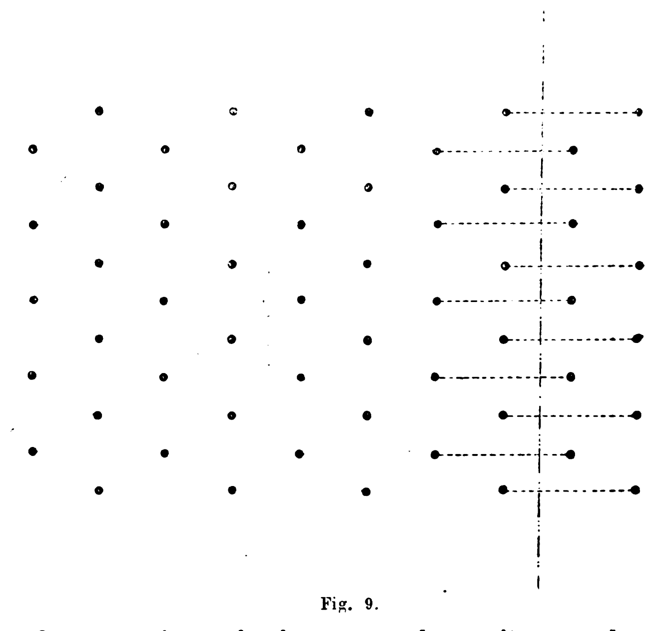


Fig. 9.

On peut orienter les hexagones de manière que deux côtés parallèles soient horizontaux ou verticaux. La seconde disposition est généralement préférable, car deux fils situés dans un même plan horizontal se mêlent plus facilement à distance égale que deux fils situés dans un même plan vertical. Les isolateurs se

trouvent, dans ce dernier cas, placés sur des lignes verticales à une distance d les uns des autres ; et deux lignes verticales voisines sont séparées par un intervalle égal à $\frac{d}{2}\sqrt{3}$.

Si on considère quatre lignes verticales d'isolateurs a, b, c, d, consécutives, on voit qu'elles constituent l'armement d'un poteau P P avec consoles courtes et longues. Le raccordement avec les points d'appui voisins se fera donc tout naturellement.

Désignons par H la hauteur de la tourelle, B le périmètre de sa base et N le nombre d'isolateurs qu'elle peut recevoir avec l'armement précédent, on a :

$$N = \left(\frac{H}{d} + 1\right)\left(\frac{B}{\frac{d}{2}\sqrt{3}} + 1\right) = \frac{2BH}{d^2\sqrt{3}} + \frac{H}{d} + \frac{2B}{d\sqrt{3}} + 1.$$

Les trois termes du second membre étant négligeables par rapport au premier terme, on a sensiblement :

$$N = \frac{2S}{d^2\sqrt{3}}.$$

S étant la surface de la tourelle.

Comparons avec une tourelle armée de manière que les isolateurs se trouvent placés aux sommets de carrés, comme cela a lieu généralement. On a dans ce dernier cas :

$$N' = \frac{S}{d^2}.$$

On en déduit :

$$\frac{N}{N'} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1{,}156.$$

Fig. 10.

On voit qu'en adoptant un armement hexagonal, on

peut augmenter le nombre des fils de plus de 15 p. 100.

La distribution des isolateurs étant choisie, on adoptera pour la surface de la tourelle une forme appropriée aux dispositions locales. Cette forme dépendra surtout du soubassement sur lequel on s'appuie et des directions suivant lesquelles arrivent les fils aériens. Cette forme étant adoptée, on la réalisera soit au moyen de pylônes réunis entre eux par des entretoises horizontales et des ceintures qui recevront les pièces portant isolateurs, soit au moyen de pylônes ou montants portant eux-mêmes les isolateurs réunis entre eux par des entretoises horizontales et des ceintures. Mais dans l'un et l'autre cas, il est indispensable d'ajouter des pièces de contreventement traversant obliquement la tourelle pour réunir un pylône à un pylône opposé. Il ne faut pas oublier en effet que le triangle est la seule figure articulée qui reste invariable, tandis qu'au contraire on peut faire une infinité de quadrilatères avec quatre côtés donnés.

Considérons en particulier un système formé de deux montants AB, BC assemblés sur une face fixe AB et réunis seulement par des entretoises horizontales DC, EF. Si les assemblages en A et B viennent à permettre une articulation même légère, le rectangle s'infléchira suivant A'B'C'D' sans que les pièces qui la constituent se déforment. Il n'en serait pas de même si on avait disposé une écharpe AC.

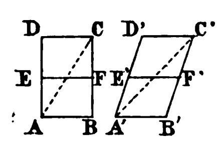


Fig. 11.

Si les deux barres AD et BC étaient encastrées à leur partie inférieure de manière qu'il n'existe aucune articulation possible en A et B, le rectangle ne pourrait

s'infléchir, mais la disposition sans écharpe serait quand même irrationnelle.

En effet les liaisons par entretoise ont simplement pour effet si un effort s'exerce sur une barre d'en reporter la moitié sur l'autre; puis les barres travaillent séparément pour supporter la moitié de l'effort, tandis que si on a disposé une triangulation convenable entre elles, leur ensemble travaille comme une poutre d'une hauteur égale à la distance qui les sépare. Une des dernières constructions faites en France a été réalisée ainsi avec quatre pylônes encastrés solidement dans un embase en maçonnerie sans qu'aucune barre de contreventement ait été placée. Il est bien évident dès lors que si la tourelle est stable, c'est qu'on a employé pour les pylônes plus de matières qu'il n'était nécessaire.

Nous allons, pour terminer cette note, appliquer la méthode de calcul précédente à la vérification de la tourelle construite à Angers en 1891.

La tourelle d'Angers a été construite pour recevoir trois cent cinquante fils. Elle est assise sur la cage de l'escalier de l'Hôtel des Postes et Télégraphes.

Cette cage d'escalier a une hauteur de 18 mètres; elle est formée essentiellement de six pylônes en fer double **T** disposés sensiblement suivant une circonférence et reliés entre eux, de distance en distance, par des ceintures circulaires formées de deux fers à double **T** (*fig*. 6). *a*, *α*, à âmes verticales serrées entre elles par des boulons, l'intervalle entre ces deux fers étant rempli par un fer à double **T** *b*. Elle est complétée par un remplissage de maçonnerie de briques posées à plat.

a b α

Fig. 12.

Pour donner la hauteur voulue à la tourelle, les pylônes ont été prolongés sur une longueur de $2^m,50$ par des fers à double T qu'on a réunis, à la partie supérieure, par une ceinture formée de deux fers plats réunis entre eux par des boulons.

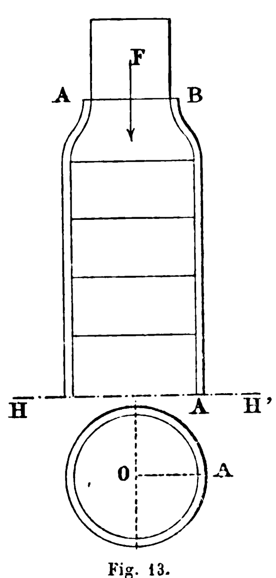
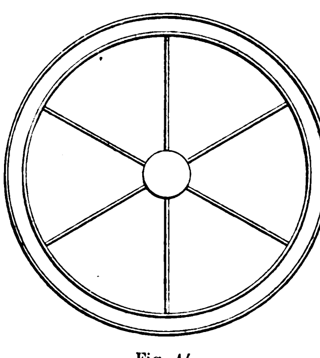


Fig. 13.

On a donné au prolongement des pylônes une forme courbe telle que le rayon de la ceinture supérieure soit égal au rayon de la tourelle.

Un plancher en fer est établi sur cette ceinture supérieure.

Il est formé de six poutres en fer à T assemblées, d'une part, avec la ceinture et d'autre part avec un tube en fer qui est destiné à recevoir les câbles sous plomb.


Fig. 14.

La tourelle proprement dite est formée par 18 montants en fer Zorès formant un cylindre de 3 mètres de base et d'environ 3 mètres de hauteur. Ces montants sont assemblés à leur partie inférieure sur une double ceinture en fer plat fixée au plancher. Deux ceintures semblables les réunissent entre eux à la partie médiane et à la partie supérieure.

Le contreventement n'existe que jusqu'à la première

ceinture. Il est constitué par six contrefiches formées de deux fers à U assemblés dos à dos et maintenus écartés au moyen de bagues enfilées dans les boulons qui les relient.

Ces contrefiches sont fixées, d'une part, sur la ceinture médiane, et d'autre part sur le plancher, comme le montre la coupe ci-jointe.

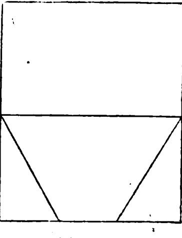


Fig. 15.

On a adopté la disposition hexagonale des isolateurs avec distance de $0^{m},30$.

Les montants sont armés au moyen de consoles doubles fixées contre les plats du Zorès au moyen de boulons ; la seule tension des fils suffirait d'ailleurs à maintenir les consoles contre les montants. On dessert ainsi, au moyen d'un seul montant, deux rangées verticales d'isolateurs. Chaque montant porte 10 fils entre deux ceintures voisines, soit en tout 20 fils.

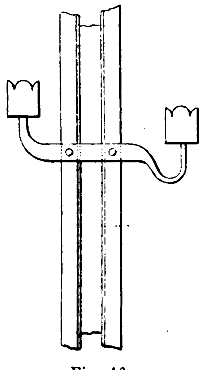


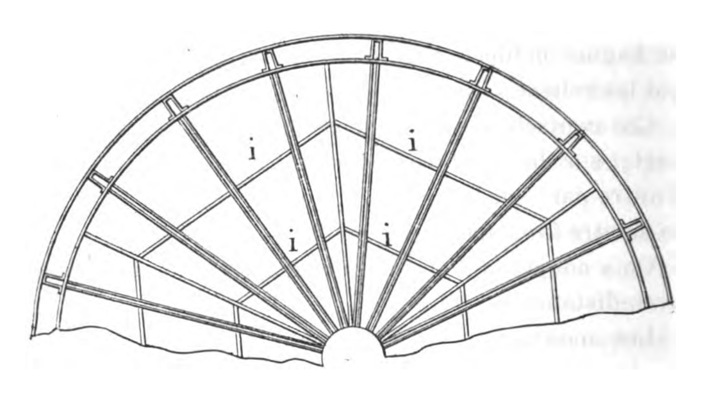
Fig. 16.

Les câbles sous plomb qui continuent les fils aériens, descendent à l'intérieur de la cavité du Zorès pour rejoindre le puits central au moyen de caniveaux disposés dans le plancher.

Pour supporter ces caniveaux on a établi entre les poutres radiantes qui constituent la travure du plancher, des poutrelles *i*, *i*. Ces poutrelles, outre qu'elles servent à contreventer horizontalement le plancher, supportent des caniveaux en fer à ⊔ fermés hermétiquement par des plaques mobiles en tôle striée.

Des équerres fixées contre les caniveaux servent à

porter dans les intervalles de ces caniveaux un platelage en tôle striée.



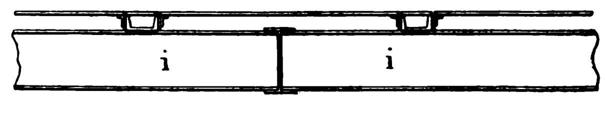


Fig. 17.

Pour éviter que l'eau descendant le long des câbles sous plomb gagne le puits central en suivant les caniveaux, on a donné à ceux-ci, et par conséquent à l'ensemble du plancher, une pente de 5 centimètres par mètre.

En outre, des bagues servent à écarter des caniveaux les cornières que porte le platelage, afin que l'eau ne puisse entrer dans les caniveaux par l'intervalle existant entre les couvercles et le platelage.

La tourelle est surmontée d'une charpente métallique formée seulement de chevrons.

STABILITÉ DE LA TOURELLE.

La tourelle est calculée pour porter seulement du fil de 11/10 de millimètre.

La cage d'escalier sur laquelle elle est assise, cage qui est à peine liée à la masse de l'Hôtel, n'offrait pas une stabilité suffisante et l'administration n'a pas cru devoir élever un soubassement spécial en maçonnerie.

On a supposé que la tension de rupture du fil était d'environ 50 kilogrammes, et que le poids maximum dû au givre était d'environ 25 kilogrammes par fil.

Calculons la stabilité pour le cas, le plus dangereux, où tous les fils restants sont du même côté d'un plan diamétral.

La section de la base est évidemment la section dangereuse, et c'est pour cette section qu'on doit calculer le travail des différentes pièces.

Calcul de F :

Le poids propre de la tourelle est	2.000^{kg}
Le poids accidentel, uniformément réparti. .	400
Le poids accidentel dissymétrique est.	4.000
Total F.	6.400^{kg}

Calcul de X :

Le poids accidentel dissymétrique donne lieu à un couple x_1 dont le moment est d'environ $4.000 \times 0,75$. Donc :

$$x_1 = 3.000.$$

D'autre part, les efforts du vent et la traction des fils étant répartis également sur toute la hauteur de la tourelle, le moment de flexion dû à ces forces s'obtien-

dra en multipliant leur résultante par la hauteur du centre de gravité de la tourelle.

La résultante de la traction des fils est	5.700^{kg}
La résultante due à l'action du vent sur les fils est. .	1.800
La résultante due à l'action du vent sur la tourelle. .	1.200
La résultante de ces forces est V =	8.700^{kg}

Le moment de flexion est

$$x_2 = 8.700 \times 1,5$$

ou

$$x_2 = 13.050.$$

Prenons

$$X = x_1 + x_2 = 16.000^{kg}.$$

Travail du montant le plus fatigué.

$$R = \frac{6.400}{18\omega} + \frac{16.000}{\omega \Sigma d^2};$$

On a :

$$\omega = 960^{mm^2}, \quad \Sigma d^2 = 10.$$

Il en résulte :

$$R = 2^{kg},03 \text{ par millimètre carré.}$$

La réaction de ce montant sur la ceinture de base $R\omega$ est de 1.355 kilogrammes.

Travail individuel de chaque montant. — La distance entre deux ceintures est de $1^m,40$. Chaque montant porte 10 fils dans cet intervalle.

En admettant que les efforts des fils représentent une charge répartie uniformément sur la distance de $1^m,40$, on a :

$$R = \frac{50 \times 10 \times 1,4}{8} : \frac{i}{v}$$

or :

$$\frac{i}{v} = 19.$$

Donc :

$$R = 6^{kg},2.$$

Le travail total d'un montant pourrait donc exceptionnellement atteindre le chiffre de

$$8^{kg},23 \text{ par millimètre carré.}$$

Travail des barres du contreventement. — On a :

$$\Sigma \omega \cos i = 3\omega \quad \text{et} \quad \omega = 1.200^{mm^2}.$$

Donc :

$$R = \frac{8.700}{3 \times 1.200},$$

soit approximativement

$$2^{kg},41.$$

Or les fers à **U** assemblés dos à dos, qui constituent le contreventement, peuvent sans craindre de flambement travailler à un effort de compression de 5 kilogrammes par millimètre carré.

Travail des ceintures. — Les réactions des trois montants MNP placés, sur la ceinture, entre deux nœuds de contreventement consécutifs A et B, sont d'environ 500 kilogrammes pour chacun d'eux. Ces efforts sont très sensiblement normaux à la ceinture.

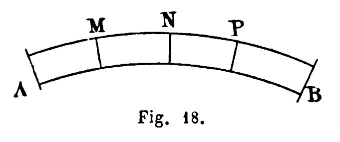


Fig. 18.

La somme de leurs moments, par rapport à l'un des points A et B, est de 700 kilogrammètres.

On a donc :

$$\frac{RI}{v} = \frac{700}{8}.$$

Une ceinture est formée de deux fers plats de 1 centimètre d'épaisseur et de 9 centimètres de hau-

teur reliés invariablement entre eux par des boulons spéciaux de manière que la ceinture travaille comme une pièce formée d'un seul morceau.

La distance entre les deux fers plats est de 10 centimètres.

Fig. 19.

Or, on sait que l'on a, d'une manière générale, ω étant l'aire de la section droite d'un des fers plats formant la ceinture, et d la distance de l'axe de la ceinture au centre de gravité de la section droite d'un des fers plats :

$$\frac{I}{v} = 2d\omega.$$

Donc :

$$R = \frac{700}{8 \times 2d\omega}.$$

Or :

$$\omega = \frac{1}{10^2} \times \frac{10}{10^2} \text{ et } 2d = \frac{9}{10^2}.$$

Donc :

$$R = \frac{700}{8} \times \frac{10^2}{9} \times \frac{10}{10} = 0^{kg},97.$$

STABILITÉ DU SOUBASSEMENT DE LA TOURELLE.

La réaction de la tourelle sur la cage d'escalier se compose :

1° Des efforts verticaux que les montants de la tourelle exercent sur la ceinture dans le plan AB de base de la tourelle ;

2° De l'effort tranchant V appliqué dans le plan AB, sur la ceinture.

Les efforts verticaux sont transmis par la ceinture aux pylônes de la tourelle et de là aux fondations.

On peut calculer ces réactions en appliquant simple-

ment aux pylônes la formule qui a servi à calculer le travail des montants verticaux de la tourelle.

Considérons une section de la tourelle par un plan horizontal laissant au-dessus de lui la partie courbe des pylônes.

Le travail moléculaire d'un pylône est :

$$R = \frac{6.400}{6\,\omega} \pm \frac{8.700 \times d}{I}.$$

Or, on a :

$$I = 10\,\omega$$

et

$$\omega = 6.000.$$

Donc :

$$R = \frac{6.400}{36.000} \pm \frac{8.700 \times d}{60.000}.$$

Pour l'orientation des pylônes représentée par la *fig.* 20, on trouve, en affectant du signe — les valeurs qui se rapportent aux pylônes travaillant à la compression :

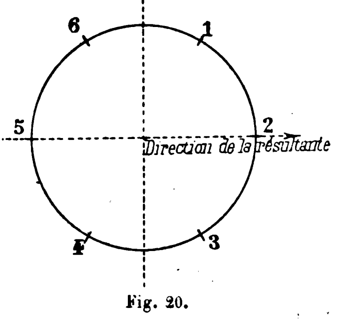


Fig. 20.

$$R_1 = R_3 = 0^{kg},29,$$
$$R_2 = 0\ ,64,$$
$$R_4 = R_6 = -0\ ,06,$$
$$R_5 = -0\ ,29,$$

Pour détruire l'effort tranchant, on a dû intéresser la masse de l'hôtel à la stabilité de la cage, au moyen de deux arbalétriers partant de la ceinture AB et allant s'assembler, l'un dans la travure du plancher du grenier, l'autre dans les fermes de la toiture. Les deux arbalétriers sont dirigés de manière que leurs projections horizontales *om* et *on*, sur le plan AB, passent par l'axe *o* de la tourelle et soient à peu près à angle

droit. La force V peut toujours être décomposée en deux autres v_1 et v_2, dirigés suivant *om* et *on*.

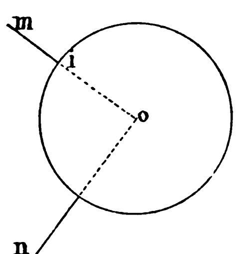


Fig. 21.

Considérons le plan vertical mené par l'un des arbalétriers IM.

Soit IE la composante v_1 ; on peut la décomposer elle-même en deux forces IC et ID, dirigées, l'une verticalement, l'autre suivant l'arbalétrier correspondant, soit α l'angle d'inclinaison de l'arbalétrier.

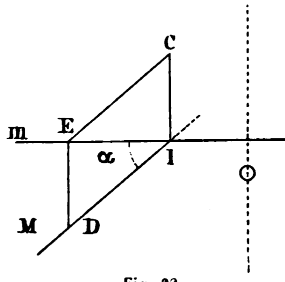


Fig. 22.

On a :

$$\text{ID} = \frac{v_1}{\cos \alpha}$$
$$\text{IC} = v_1 \operatorname{tg} \alpha.$$

La valeur maximum de v_1 étant V, les valeurs maxima de ID et IC sont respectivement :

$$\text{ID} = \frac{8.700}{\cos 31^\circ}, \quad \text{soit} \quad 7.395^{\text{kg}}.$$
$$\text{IC} = 8.700 \operatorname{tg} 31^\circ, \quad \text{soit} \quad 5.220^{\text{kg}}.$$

L'arbalétrier IM est donc soumis à un effort maximum de 7.395 kilogrammes.

Cet effort peut le faire travailler soit à l'extension, soit à la compression.

On a choisi le profil des arbalétriers pour que, étant donnée leur longueur, ils puissent sans craindre le flambement, résister à un effort de compression de 8.600 kilogrammes.

L'effort supporté par l'arbalétrier se transmet sur la masse de l'hôtel.

La composante verticale IC donne lieu à une charge symétrique de 5.220 kilogrammes qui se répartit également entre les 6 pylônes et à un couple vertical dont le moment est égal à :

$$5.220 \times 1,5, \quad \text{soit} \quad \text{à } 7.830^{\text{kg}}.$$

Ce couple doit être équilibré par la résistance des pylônes.

Le travail qui résulte pour les pylônes de la composante IC est donné par la formule :

$$R = \pm \frac{5.220}{6\omega} + \frac{7.830 \times d}{10\omega}.$$

On en déduit les valeurs suivantes :

$$\text{L'effort sur l'arbalétrier étant un effort de compression.} \left\{ \begin{array}{ll} R_1 = R_3 & = +\,0^{\text{kg}},06 \\ R_2 & = +\,0\ ,09 \\ R_4 = R_6 & = -\,0\ ,19 \\ R_3 & = -\,0\ ,37 \end{array} \right.$$

$$\text{L'effort sur l'arbalétrier étant un effort de traction.} \left\{ \begin{array}{ll} R_1 = R_3 & = \,0\ ,19 \\ R_2 & = \,0\ ,37 \\ R_4 = R_6 & = -\,0\ ,06 \\ R_3 & = -\,0\ ,09 \end{array} \right.$$

Ce travail s'ajoute à celui qui résulte des réactions des montants et donne lieu au travail total suivant :

$$\text{Arbalétrier travaillant à la compression.} \left\{ \begin{array}{ll} \rho_1 = \rho_3 & = \,0^{\text{kg}},35 \\ \rho_2 & = \,0\ ,73 \\ \rho_4 = \rho_6 & = -\,0\ ,25 \\ \rho_5 & = -\,0\ ,66 \end{array} \right.$$

$$\text{Arbalétrier travaillant à la traction.} \left\{ \begin{array}{ll} \rho_1 = \rho_3 & = \,0\ ,48 \\ \rho_2 & = \,0\ ,01 \\ \rho_4 = \rho_6 & = -\,0\ ,12 \\ \rho_5 & = \,0\ ,38 \end{array} \right.$$

On voit que les pylônes peuvent avoir à supporter un effort de compression de 1 kilogramme par millimètre carré. Or, ils sont formés de deux fers à double T

larges ailes, boulonnés ensemble par leurs nervures, et serrés contre un fer à double T qui remplit l'intervalle existant entre eux. Les ceintures qui les relient à différentes hauteurs ont pour effet de s'opposer au flambement sous les efforts de compression et on pourrait les faire travailler jusqu'à 3 kilogrammes par millimètre carré.

Il n'y a donc pas à craindre pour la résistance des pylônes.

RÉSISTANCE DES FONDATIONS.

Les réactions des arbalétriers sur les fondations sont dans le premier cas (arbalétriers travaillant à la compression) :

$$
\begin{aligned}
P_1 = P_3 &= 2.100^{kg}. \\
P_2 &= 4.380 \\
P_4 = P_6 &= -1.500 \\
P_5 &= -3.960
\end{aligned}
$$

et dans le second cas (arbalétriers travaillant à la traction) :

$$
\begin{aligned}
P_1 = P_3 &= 2.880^{kg}. \\
P_2 &= 6.060 \\
P_4 = P_6 &= -720 \\
P_5 &= -2.280
\end{aligned}
$$

La pression des pylônes sur le demi-cercle des fondations est maximum dans le cas où l'arbalétrier travaille à la traction.

La valeur totale de cette pression est alors de 11.820 kilogrammes.

Cette valeur étant donnée, la rigidité de la sablière en fer sur laquelle sont assemblés les pylônes, se répartit à peu près uniformément sur la surface totale du demi-

cercle. La surface du demi-cercle étant de 4 mètres carrés, on voit que les fondations auraient à supporter une surcharge de 2.954 kilogrammes par mètre carré pour résister à la réaction verticale des pylônes.

Cette pression s'ajoute à la pression qu'exerce la maçonnerie de la cage d'escalier. Le poids de cette maçonnerie étant de 30.000 kilogrammes réparti sur 8 mètres de surface, la pression qu'elle exerce est par mètre carré de 3.750 kilogrammes.

La pression totale sur les fondations pourra donc atteindre une valeur maximum de 6.704 kilogrammes par millimètre carré.

L'effort total maximum de soulèvement dû aux pylônes qui travaillent à la traction est de 3.780 kilogrammes.

Il est appliqué sur la moitié de la sablière et peut être considéré comme réparti uniformément sur sa surface.

Ce poids est détruit par le poids de la maçonnerie qui presse sur la même surface et qui est de 15.000 kilogrammes.

F. Chauvelon.

ÉTABLISSEMENT D'UNE TABLE DE CORRECTION

POUR LES

VARIATIONS D'ISOLEMENT D'UN CABLE SOUS-MARIN

AVEC LA TEMPÉRATURE

Le cahier des charges relatif à la fourniture et à la pose de câbles sous-marins entre Marseille-Oran et entre Marseille-Tunis porte qu'avant et après l'embarquement, les isolements mesurés seront ramenés à ce qu'ils seraient à 24°, au moyen d'une table de correction établie pendant la fabrication du câble par les agents de l'administration de concert avec l'adjudicataire. Le service de la vérification du matériel étant chargé de vérifier les âmes de ces câbles, c'est à lui qu'incombait l'établissement de ces tables.

Celle relative au câble Marseille-Oran a été dressée à l'usine de Bezons pendant la fabrication des sections de l'âme. Comme on en était très pressé, l'armature du câble ayant été faite rapidement, on a déterminé expérimentalement les isolements de deux groupes d'âmes pour les températures suivantes : 7°, 9°, 12°, 14°, 16°, 18°, 20°, 22°, 24°, 26°, 29°, 32°.

C'est par interpolation qu'on a déterminé les résistances pour les autres degrés de température entre 7° et 32°; on n'a pas même eu le temps de faire une seconde série d'essais pour s'assurer de l'exactitude des nombres trouvés par l'expérience.

Il en a été autrement pour le câble de Marseille-Tunis. On a eu tout le temps nécessaire pour mesurer degré par degré, de 5° à 32°, les résistances d'isolement de deux séries de longueurs d'âme de ce câble, et on a pu recommencer une seconde fois ces expériences, afin de s'assurer de l'exactitude des résultats. Ce travail fait, sous ma direction, par M. l'inspecteur Jacquin a été effectué de la manière suivante.

On a pris deux séries d'âmes ayant à 24° des isolements différents, afin d'avoir, par les moyennes des résultats, des nombres applicables au câble tout entier.

Pour effectuer ces expériences, les âmes sur lesquelles on opérait étaient placées dans une cuve pleine d'eau parfaitement couverte et entourée d'une enveloppe calorifuge pour empêcher la conductibilité et le rayonnement extérieur. Six thermomètres parfaitement étalonnés plongeaient continuellement dans les différentes parties de la cuve, et la constance de la température était vérifiée automatiquement. On obtenait les diverses températures en faisant circuler dans la cuve un courant d'eau portée à une température convenable, par son passage préalable, soit dans un réfrigérant, soit dans une enceinte chauffée avec de la vapeur. Par l'effet de ces courants, l'eau de la cuve entrait elle-même en mouvement et prenait une température uniforme dans toute sa masse. En général, trois heures suffisaient pour passer d'une température à une autre. Et, à ce moment, à l'aide de robinets construits *ad hoc*, on diminuait notablement cette circulation de manière à maintenir l'eau à la même température pendant 48 heures, temps reconnu nécessaire pour amener le diélectrique des âmes à avoir cette même tempéra-

ture. On reconnaissait que les différentes couches de gutta des longueurs d'âmes expérimentées avaient cette température quand la résistance électrique du cuivre ne variait plus. Comme moyen de vérification, on calculait, d'après les formules connues, la variation de résistance du cuivre entre cette température et la précédente.

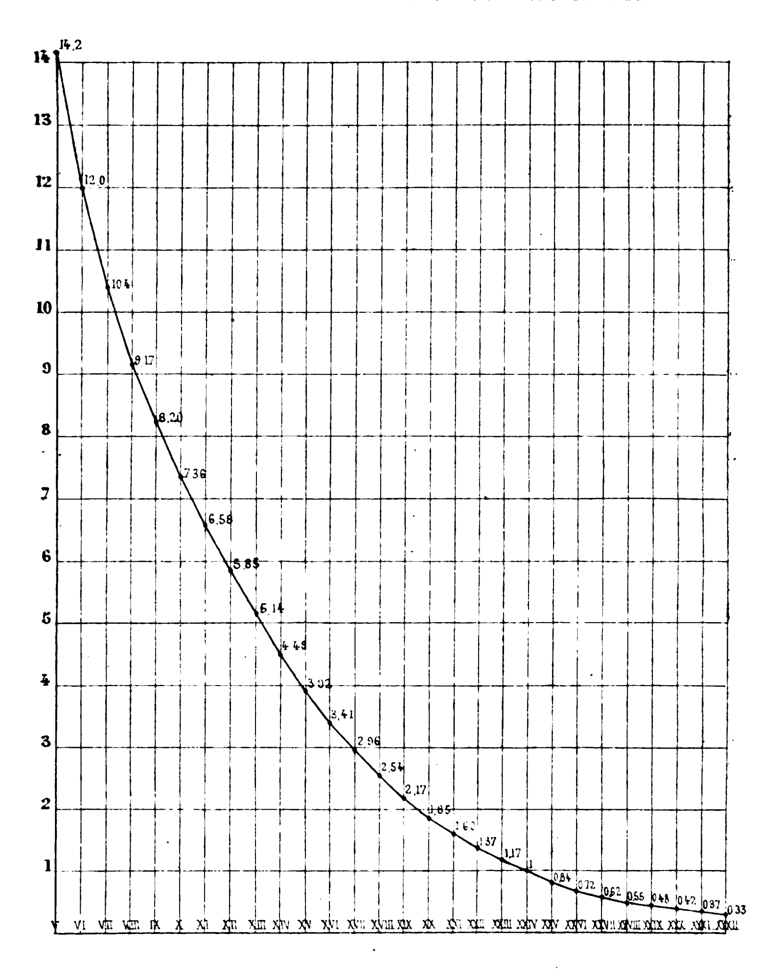
Les résistances d'isolement ont été déterminées avec une pile de 200 éléments Callaud, après deux minutes d'électrification successivement avec le pôle négatif et le pôle positif, et on prenait la moyenne des deux résultats obtenus à une température donnée pour résistance d'isolement à cette température.

On a ainsi obtenu pour ces deux groupes de longueurs d'âmes les résultats compris dans le tableau n° 1 ci-après.

En divisant les résistances d'isolement aux diverses températures par la résistance d'isolement à 24° du même groupe de longueurs d'âmes, on avait les nombres de la table de correction pour ce groupe, et en prenant, pour chaque température, la moyenne des nombres trouvés pour les deux groupes, on avait, pour cette température, le nombre de la table applicable à tout le câble. Ces résultats sont indiqués dans le tableau n° 2, dans lequel les nombres de la colonne 4 sont ceux de la table applicable au câble.

La courbe ci-jointe, dont les abscisses représentent les températures et les ordonnées, les isolements, est la traduction graphique de ces nombres, et elle montre les variations de ces isolements. Elle a une forme régulière qui fait bien voir la continuité physique de ces résultats et en confirme l'exactitude; d'ailleurs, les nombres de la table ne diffèrent pas notablement de

ceux fournis par les tables de Clarke et Sabine. L'examen des colonnes 2 et 3 du tableau 2 montre, comme on devait s'y attendre, que des gutta-percha différentes ont des variations différentes d'isolement.



Les variations d'isolement du second groupe sont moins grandes que celles du premier groupe; et,

d'autre part, l'analyse m'a montré que la gutta-percha du second groupe était de meilleure qualité que celle du premier.

Les expériences ayant duré assez longtemps, on peut se demander si les variations d'isolement avec le temps n'ont pas introduit des erreurs notables dans la table.

On peut répondre qu'il est impossible d'opérer plus rapidement qu'on l'a fait, si on veut être sûr des résultats trouvés.

De plus, j'ai fait remarquer dans un autre article des *Annales* (*) que cette variation d'isolement avec le temps est d'autant plus petite pour le même temps que la quantité d'eau contenue dans la gutta est plus faible et l'analyse des guttas ayant servi aux essais dont je rends compte en ce moment a montré que la quantité d'eau était ici peu importante : elle ne dépassait pas 1,5 p. 100.

En outre, cette variation d'isolement diminue rapidement à mesure qu'on s'éloigne des premiers jours de la fabrication. Or, les premiers essais ont précisément été effectués quinze jours au moins après la fabrication des âmes, et les essais définitifs, qui ont donné les nombres qui figurent dans la table, ont été commencés deux mois plus tard.

On trouve, dans Latimer Clark, la formule suivante établissant une relation entre les isolements d'un même câble à deux températures différentes :

$$R_t = R_{t'} \alpha^{t-t'}.$$

Pour $t' = 24$, elle devient $R_t = R_{24} \alpha^{t-24}$, α étant une constante qui, dans Clark, est égale à 0,8944.

(*) T. 18, 1891, p. 12.

Si, prenant les nombres contenus dans la colonne n° 4 du tableau n° 2, on calcule la valeur de α en partant de cette formule, on trouve des valeurs différentes, lesquelles sont comprises dans le tableau n° 3 ci-dessous (colonne 2).

Ceci tend à prouver que la formule en question n'est qu'approchée.

La moyenne de ces valeurs est $\alpha = 0,861$. Si, avec cette valeur pour constante, on calcule, au moyen de la même formule, les valeurs relatives de l'isolement aux différentes températures entre 5° et 32°, on a les valeurs contenues dans la colonne n° 3 du tableau n° 3 qui diffèrent notablement de celles données par l'expérience, colonne 4 du tableau n° 2. Cela ne doit nullement surprendre, car, à la page 167 de l'ouvrage de Latimer Clark, on trouve de même un tableau contenant les résistances d'isolement à diverses températures du câble du golfe Persique et celui de Ceylan, dans lequel on voit que les résistances observées diffèrent notablement de celles calculées.

TABLEAU N° 1.

Isolements kilométriques à différentes températures de deux groupes d'âmes.

TEMPÉRATURES de l'eau	1er GROUPE			2e GROUPE		
	Isolements après 2' d'électrisation		Moyennes	Isolements après 2' d'électrisation		Moyennes
	avec le pôle (−)	avec le pôle (+)		avec le pôle (−)	avec le pôle (+)	
5°	46.531 Ω	43.613 Ω	45.072 Ω	31.823 Ω	30.800 Ω	31.311 Ω
6°	38.752	36.668	37.710	27.066	26.090	26.578
7°	33.688	32.293	32.988	23.251	22.290	22.770
8°	29.653	28.634	29.143	20.387	19.641	20.014
9°	26.487	25.635	26.061	18.175	17.546	17.860
10°	23.655	22.927	23.291	16.369	15.894	16.131
11°	20.960	20.314	20.637	14.870	14.294	14.582
12°	18.442	17.827	18.134	13.400	12.800	13.100
13°	15.966	15.494	15.730	12.000	11.400	11.700
14°	13.865	13.290	13.577	10.650	10.000	10.325
15°	12.104	11.575	11.839	9.350	8.700	9.025
16°	10.537	10.049	10.293	8.100	7.600	7.850
17°	9.221	8.819	9.020	7.000	6.550	6.775
18°	7.963	7.602	7.782	6.000	5.550	5.775
19°	6.769	6.476	6.572	5.200	4.758	4.979
20°	5.702	5.546	5.574	4.500	4.088	4.294
21°	4.862	4.704	4.783	3.850	3.553	3.701
22°	4.157	4.090	4.123	3.250	3.030	3.160
23°	3.594	3.489	3.541	2.700	2.615	2.692
24°	3.068	3.010	3.039	2.310	2.259	2.285
25°	2.590	2.533	2.561	1.950	1.922	1.936
26°	2.212	2.171	2.191	1.680	1.654	1.667
27°	1.926	1.881	1.903	1.452	1.423	1.437
28°	1.673	1.654	1.663	1.280	1.259	1.269
29°	1.453	1.438	1.445	1.120	1.100	1.110
30°	1.278	1.260	1.269	991	976	983
31°	1.140	1.130	1.135	867	858	862
32°	1.022 Ω	1.015 Ω	1.018 Ω	784 Ω	777 Ω	780 Ω

TABLEAU N° 2.

Table des résistances relatives d'isolement des âmes du câble de Marseille à Tunis, pour les températures comprises entre 5° et 32°, la résistance à 24° étant prise pour unité.

Températures.	1er groupe d'âmes.	2e groupe d'âmes.	Moyennes.
1	2	3	4
5°	14,831	13,702	14,2665
6	12,408	11,6304	12,0192
7	10,854	9,964	10,409
8	9,588	8,7575	9,1727

Températures.	1er groupe d'âmes.	2e groupe d'âmes.	Moyennes.
1	2	3	4
9	8,5745	7,8155	8,1950
10	7,664	7,0594	7,3617
11	6,7899	6,381	6,5854
12	5,9665	5,733	5,8497
13	5,176	5,120	5,148
14	4,467	4,518	4,4925
15	3,895	3,949	3,922
16	3,387	3,435	3,411
17	2,968	2,965	2,9665
18	2,560	2,527	2,5435
19	2,162	2,178	2,170
20	1.834	1,881	1,8575
21	1,573	1,620	1,5965
22	1,356	1,383	1,3695
23	1,1652	1,178	1,1716
24	1,000	1,000	1,000
25	0,8425	0,8475	0,845
26	0,721	0,729	0,725
27	0,6255	0,6285	0,627
28	0,547	0,555	0,551
29	0,475	0,485	0,480
30	0,417	0,430	0,423
31	0,373	0,377	0,375
32	0,335	0,341	0,338

TABLEAU N° 3.

Températures en degrés centigrades.	Valeurs de α calculées.	Table calculée avec $\alpha = 0,861$	Températures en degrés centigrades.	Valeurs de α calculées.	Table calculée avec $\alpha = 0,861$
1	2	3	1	2	3
5°	0,869	17,18	19°	0,856	2,114
6	0,871	14,79	20	0,856	1,820
7	0,871	12,73	21	0,855	1,567
8	0,870	10,965	22	0,854	1,349
9	0,869	9,441	23	0,853	1,162
10	0.867	8,128	24	—	1,000
11	0,865	6.998	25	0,845	0,861
12	0,863	6,026	26	0,851	0,741
13	0,862	5,188	27	0,855	0,638
14	0,860	4,467	28	0,861	0,549
15	0,859	3,846	29	0,863	0,473
16	0,857	3,311	30	0,866	0,407
17	0,856	2,851	31	0,869	0,351
18	0,855	2,455	32	0,873	0,302

LAGARDE.

LE CAOUTCHOUC DU HAUT ORÉNOQUE

(Suite.)

Ma méthode de préparation. Son principe. — Je dois dire tout d'abord que l'on savait déjà, en laboratoire, coaguler par la chimie, le lait du caoutchouc; à Madagascar même, on en produit ainsi. Mais la question d'antiseptie, la plus importante, me semble avoir toujours échappé à ceux qui ont fait des efforts dans ce sens.

J'ai donc cherché : 1° une coagulation instantanée, surtout pratique; 2° une antiseptie tout aussi rapide pour conserver à du caoutchouc ainsi fait toute la valeur du procédé indien.

La première donnée devait être résolue à l'aide de ce principe : à savoir que la coagulation d'un corps à l'état liquide, mais solidifiable à la température normale, équivaut à une déshydratation, à une dessiccation de ce corps; il s'agissait par conséquent d'enlever l'excès d'eau qui maintient le lait à l'état liquide.

Un corps quelconque, avide d'eau, résout la question, on le sait; en effet, le caoutchouc n'est attaquable guère que par l'éther, l'essence de térébenthine, le sulfure de carbone; il est inattaquable par presque tous les autres réactifs chimiques, et en tout cas par les acides et par tous les sels déliquescents : ces réactifs pouvaient donc impunément être mélangés au lait sans lui faire perdre aucune de ses qualités.

Jusqu'ici, lorsqu'on voulait avoir du caoutchouc pur

pour le laboratoire, on ne se servait guère que du procédé mécanique suivant : saturation du lait par le chlorure de sodium, qui se dissolvait dans l'eau et la rendait plus lourde; le caoutchouc plus léger venait alors surnager à la surface où il était recueilli.

Parmi tous les corps hydrophiles, je n'avais que l'embarras du choix; tous les sels déliquescents, chlorure de calcium, potasse, soude, et les sels de leurs oxydes; alcool, acides divers, surtout phénique, chlorhydrique et sulfurique; il fallait s'arrêter au corps le plus pratique et le moins coûteux.

Essais chimiques. — Je me suis immédiatement rendu compte que la loi était vraie, la chose possible, et qu'aucun facteur inconnu ne viendrait empêcher cette coagulation.

Pour certains corps ce facteur existe, sans que j'aie pu jusqu'ici en trouver la raison; ainsi l'acide citrique, cependant préconisé, les carbonates et sous-carbonates de potasse et de soude, ne coagulent pas le lait, à quelque dose qu'on les emploie, bien que, vu la déliquescence de ces sels, certains chimistes aient prétendu le contraire.

L'existence de ce facteur doit être très difficile à analyser : la coagulation du lait des guttas en est un exemple.

La loi physique qui fait que ces laits sont coagulables par la déshydratation, vraie pour les caoutchoucs, l'est beaucoup moins pour les guttas. La coagulation des laits de gutta ne peut être obtenue *absolument* que par l'évaporation, par la chaleur. Ces laits résistent, et d'une façon complète, aux agents hydrophiles les plus actifs, tels que l'acide sulfurique, l'alcool et le chlorure de calcium. Tous ces laits con-

tiennent, on le sait, une forte proportion de résine; est-ce la présence de cette résine qui s'oppose à la coagulation chimique? c'est probable, puisque la coagulation physique est la seule possible. Que se passe-t-il? Je ne sais, mais ce fait brutal est intéressant à noter.

Je passe à l'énumération des corps que j'ai essayés pour la coagulation des laits de caoutchouc.

L'*alcool* les coagule dans la proportion suivante : un volume d'alcool à 90 degrés coagule six volumes de caoutchouc; la gomme ainsi obtenue est superbe, fine, d'une éclatante blancheur, jaunissant à peine en vieillissant; c'est que l'alcool est antiseptique en même temps qu'avide d'eau. Mais l'emploi de l'alcool n'est pas pratique, vu la cherté de ce corps et son faible pouvoir coagulant; 1/6 est une proportion insuffisante.

Le perchlorure de fer liquide coagule dans la proportion de 1/9. Le caoutchouc ainsi obtenu est vilain à l'œil, d'un jaune brunâtre, il se présente sous forme de poussière dont les molécules ont peu de cohésion les unes pour les autres, on dirait de la terre arable; comme les caoutchoucs obtenus par n'importe quel procédé, — ceci dit une fois pour toutes, — il se dissout dans le sulfure de carbone.

Un volume de solution alcoolique de *sublimé* à 1/10 coagule onze volumes de lait et donne un caoutchouc très beau.

Un volume de *chlorure de calcium* coagule quinze volumes de lait. Malheureusement il est très difficile, dans ces régions toujours saturées d'humidité, de conserver ce sel.

L'*acide chlorhydrique* monohydraté a un pouvoir

coagulant de 1/5; l'*acide azotique* du commerce un pouvoir encore plus faible.

L'*acide phénique* du commerce (non cristallisé) a un pouvoir coagulant de 1 pour 18.

L'acide sulfurique. — Voici le plus merveilleux des coagulants, le coagulant par excellence, l'acide sulfurique. Un volume de cet acide trihydraté, c'est-à-dire celui du commerce, coagule instantanément cinquante-cinq volumes de lait. Une solution aqueuse de cet acide au 50 degré coagule immédiatement dix volumes de lait, et ce pouvoir coagulant s'étend même jusqu'au titre de 1/100, mais en agitant et avec plus de lenteur.

La *teinture d'iode* ne paraît guère coaguler que par l'alcool qu'elle contient.

Les autres réactifs ne coagulent nullement, au moins tous ceux que j'avais sous la main, tels que : *carbonates* et *sous-carbonates de potasse et de soude*, *chlorure de sodium*, bromures et iodures de *potassium*, de *sodium*, d'*ammonium*, *ammoniaque*, *éther*, *chloroforme*, SULFURE DE CARBONE, *glycérine*, *permanganate de potasse*, *acide arsénieux*, etc.

Insuffisance de l'acide sulfurique employé seul. — Je m'arrêterai donc à l'emploi si pratique, si peu coûteux, si rapide de l'acide sulfurique.

Mais je ne tardai pas à me convaincre qu'il était insuffisant; en effet, l'acide sulfurique protège bien la planche des fermentations pendant quelques semaines tant qu'il existe dans cette planche. On sait, en effet, que le milieu acide s'oppose à la plupart des formations de micro-organismes. Mais cet acide est si avide d'eau qu'il s'hydrate à l'infini jusqu'au point de disparaitre lui-même en totalité; aussi, au bout de quinze à vingt jours, des planches ainsi faites sont-elles neu-

tres, et plus tard même leur surface et leurs vacuoles sont alcalines, bleuissant le tournesol rouge.

Sur des planches obtenues par ce procédé, je ne tardai pas à reconnaître à la surface, se localisant principalement dans ses replis et inégalités, de la moisissure verdâtre qui apparaissait déjà au bout de huit à dix jours en des points plus en contact avec l'air, c'est-à-dire plutôt alcalins ; elle gagnait petit à petit la surface entière, et les bulles d'air emprisonnées à l'intérieur en avaient leurs parois tapissées.

Cette vie parasitaire obtint son maximum d'intensité au bout de vingt-huit à trente jours, puis resta stationnaire. Ces planches ayant alors été plongées dans l'eau bouillante, elle disparut, puis se reforma rapidement; plongée dans une solution de sublimé, elle ne reparut plus, mais n'en continua pas moins à l'intérieur, partout où avaient pu s'introduire des bulles d'air pendant l'opération de la coagulation.

Il se formait en même temps sur ces planches des colonies de très petits insectes visibles à l'œil nu ; la loupe me permit de voir des nids en quantité.

Ainsi, des insectes et des cryptogames, probablement des bactéries, à côté de spores ; la vie animale et la vie végétale étaient donc également représentées sur ces parfaits terrains de culture.

Malheureusement, l'absence de microscope à ce moment m'a empêché de représenter et de classer ces divers éléments figurés.

L'antiseptie du caoutchouc : l'acide phénique. — L'emploi d'un antiseptique me parut donc imposé. Après des essais cependant concluants et me donnant un caoutchouc très beau et durable, je dus écarter le plus puissant de tous, le bichlorure de mercure, dont

la présence pouvait présenter des inconvénients de toute nature dans les manipulations et l'emploi industriel ultérieurs.

Après plusieurs autres essais, dont la description m'entraînerait au delà du cadre imposé à ce travail, je m'arrêtai à l'emploi du phénol qui, outre son emploi antiseptique, a un certain pouvoir coagulant, pouvoir coagulant trop faible cependant pour qu'on puisse l'utiliser seul. Ayant l'antiseptique choisi, l'acide phénique, le coagulant par excellence, l'acide sulfurique, je fus conduit à mélanger ces deux acides dans l'acte lui-même de la coagulation.

Au bout de six mois on trouve encore, dans des planches ainsi faites, des traces phéniques suffisantes pour continuer la stérilisation; plus tard elles disparaissent complètement de la surface, mais la dessiccation est alors complète, la fermentation n'est plus à craindre à la surface, tandis qu'à l'intérieur, dans les vacuoles, on retrouve indéfiniment emprisonnées des vapeurs phéniquées.

L'emploi du charbon, comme dans la méthode indienne, était donc inutile. Je vais du reste y revenir.

Formule de ma méthode. — Après une série d'épreuves, je m'arrêtai à la formule industrielle suivante :

Sol. A.	Acide phénique du commerce.	4 gr.
	Alcool, quantité suffisante pour dissoudre .	
	Eau.	80 —
Sol. B.	Acide sulfurique du commerce.	2 —
	Eau.	20 —

Mélanger ces deux solutions A et B (*aucun danger*).

Cette quantité de mélange coagule instantanément, par une légère agitation (1 *litre de lait*).

Une solution mixte de 1/60 pour le premier acide et

de 1/30 pour le second est même suffisante en temps ordinaire; mais il faut tenir compte de l'heure à laquelle se fait le travail, de la température, de l'état hygrométrique de l'air, qui ont une influence incontestable; certains jours, en effet, avec cette deuxième solution, je coagulais plus péniblement que certains autres. Il est donc plus sage de ne mettre entre les mains des travailleurs que les solutions, un peu fortes, A et B, indiquées plus haut.

Ses effets. — Ainsi, pour coaguler et asceptiser une tonne, soit 1.000 litres de lait, il faut 2 litres d'acide sulfurique et 4 litres d'acide phénique non cristallisé. La dépense pécuniaire est donc complètement négligeable.

J'ai fait faire environ 100 kilogrammes de caoutchouc par mon procédé. Je ne mettrai évidemment que des solutions toutes prêtes entre les mains de mes travailleurs pour éviter tout danger.

Résultats et avantages. — Ils sont de toutes sortes : 1° rapidité; 2° facilité et simplicité; 3° économie de main-d'œuvre et d'argent; 4° possibilité de travailler en tout temps et à toute heure. En effet s'il pleut pendant l'opération du piquage, si une certaine quantité d'eau, quelle qu'elle soit, est mélangée au lait dans les récipients placés au pied de chaque arbre, la coagulation est également possible; il ne s'agit que d'employer un peu plus de solution, toujours au même titre; car, en principe, la plus petite quantité de lait, même mélangée à la plus grande quantité d'eau, est toujours coagulable en présence de l'acide sulfurique, cet acide s'hydratant à l'infini.

En outre, l'Indien ne pouvait guère travailler que trois ou quatre heures de la matinée à cause de la

chaleur qui faisait se coaguler spontanément le lait dans les récipients ; au contraire, avec ma méthode, le travailleur pourra piquer toute la journée, se bornant alors à coaguler une quantité moins grande de lait à la fois, repassant à ses arbres toutes les demi-heures, tous les quarts d'heures s'il le faut. Il travaillera plus de six mois de l'année, malgré les averses, et son travail ne sera jamais perdu.

5° De plus, avec ce procédé, impossibilité de fraude, d'adjonction de matières étrangères, facilité plus grande d'achats, etc., etc.

En effet pour fabriquer du caoutchouc fin, je n'emploie absolument que du lait pur, écartant, comme les Indiens, tout ce qui pourrait faire du *cernamby* ; il est vrai que j'ai beaucoup moins de déchets qu'eux, beaucoup moins de coagulums spontanés, grâce à la rapidité du système.

La plus petite trace de cernamby se reconnaît immédiatement, au simple coup d'œil, même sans la couper, sur la planche faite aux acides. Ayant fait ainsi des pains avec du lait pur et du cernamby, mélangeant le tout en présence des acides, j'ai au bout de quelques jours pu reconnaître le cernamby; la planche de lait pur étant blanche, le cernamby s'y détachait immédiatement en îlots noirs, pleins de vacuoles et de mauvaise odeur, qu'on pouvait même isoler et couper avec le couteau.

N'ayant presque plus de coagulum spontané avec mon procédé, le cernamby ne se composera plus que des bulles d'air flottant à la surface et des impuretés du lait; et il ne se perdra plus une quantité précieuse de lait fin.

Enfin, il n'y aura plus, dans l'achat, à établir ces

divisions gênantes de gomme fine, entre-fine, demi-fine et cernamby, dues à la présence de bulles, de coagulum et de matières étrangères, qui font toujours entrer en lutte l'Indien vendeur avec l'acheteur. Il faut, en effet, se disputer avec lui pour l'achat de chaque planche. Il a intérêt à vanter sa marchandise, à faire passer la gomme demi-fine pour de l'entre-fine et même de la fine, tandis que l'acheteur au contraire, a tout intérêt à la déprécier pour la faire entrer dans une catégorie inférieure; l'Indien prétend toujours qu'on le vole, et c'est pour cela qu'il essaie de voler le plus possible. Sur une planche qu'il aura faite avec grand soin, avec du lait pur, il se sera formé, pendant le fumage, quelques *yeux* dus à la chaleur ; immédiatement l'acheteur ou *regateone*, ne payera cette planche que comme seconde qualité.

C'est qu'en effet, ces divisions de qualité sont souvent insaisissables, subtiles, et ne reposent sur rien de sérieux ou de bien défini.

Sur mes planches, au contraire, pas de bulles; la plus petite trace de cernamby due à une impureté se reconnaît de suite, est indiscutable, tranche en noir absolu sur la masse blanche; si on n'a employé que du lait pur et propre, la planche sera toujours blanche; il n'y aura plus qu'un poids et qu'une mesure : qu'un caoutchouc vrai, tout le reste étant cernamby.

Ma méthode, plus encore de bon sens que de sciences, fruit plutôt d'observation que de théorie, mérite donc de détrôner le vieux procédé indien, long, pénible, et si rempli d'inconvénients, quoique donnant un excellent caoutchouc.

Emploi du charbon inutile. — Cependant, pour essayer de me rapprocher complètement de la méthode

indienne, j'ai mélangé du lait avec une certaine quantité de noir de fumée, assez faible; je le traitais ensuite par la solution mixte d'acides.

Au bout de quelques mois, grâce à la divisibilité infinie du charbon, ces planches étaient exactement semblables au caoutchouc fumé. J'en préparai même une, par les acides, sur la palette, trempant la palette dans la solution, puis dans le lait et faisant ainsi une série de couches feuilletées. L'incision ordinaire permit, une fois finie, de la séparer de la palette; elle était si complètement semblable au caoutchouc des Indiens que ceux-ci n'ont jamais voulu croire qu'elle était obtenue sans leur fumage.

Cependant, cette adjonction de charbon est complètement inutile et ne sert nullement à conserver une planche bien aseptique; tout au plus pourrait-on s'en servir pour imiter le vrai Para indien. Chose inutile, car des industriels américains, français et anglais, saisis d'abord à la vue de ce caoutchouc complètement blanc, ont été unanimes à le reconnaître et à vouloir l'acheter comme du Para fin ordinaire, disant que ses qualités étaient les mêmes.

Comme le caoutchouc noir, connu sous le nom de Para, jouit seul de la prime sur tous les marchés du monde, peut-être ferait-on subir à mon caoutchouc une dépréciation de 2 à 3 p. 100 à cause de cette prime accordée au Para.

Mais il est blanc, dur et résistant, quoique tout aussi élastique, compacte et agréable à l'œil; il exigera moins de purifications ultérieures, car il est du *caoutchouc* pur, tandis que le Para est mélangé de charbon; ses autres propriétés restant les mêmes, il est à prévoir qu'il fera prime sur le Para lui-même, le jour où il

arrivera en certaine quantité sur les marchés français et anglais.

La seule chose qui manquât à mes planches était une forme unique et une surface bien lisse : pour enlever plus rapidement l'excès d'eau de mes planches fraîches, je les pressais simplement entre des pierres, ce qui rendait toujours la surface un peu inégale; de vraies presses en bois, des moules en bois, très simples, et il sera facile de lui donner l'aspect et une forme toujours identiques.

Je puis donc croire avoir complètement résolu le problème.

Topographie. — Dans l'Orénoque la présence du caoutchouc ne commence guère à apparaître qu'au-dessus du rapide de Maipures; les deux rives en sont également pourvues; ses affluents de gauche le Méta, la Méseta, le Tomo, le Ruparo, la Vichada, le tiers inférieur du Guaviare, l'Irinida, l'Atabapo, et à droite le Catañapo, le Ventuari, n'en contiennent pas une quantité appréciable. La forêt est donc bornée à la vallée, même immense, de l'Orénoque et du Cassiquiare, où il est très abondant et arrive jusqu'au Brésil. Le Guainia, ou Rio-Negro vénézuélien, en contient d'une variété un peu différente jusqu'à Maroa; là il devient rare et se retrouve ensuite en abondance au-dessous de San-Carlos; on en trouve, un peu par intermittences, tout le long du Rio-Negro jusqu'à son confluent avec l'Amazone.

Richesse des forêts en Hevæa. — J'ai voulu savoir exactement ce que ces forêts pouvaient contenir, tout au moins dans les points où je pouvais facilement les atteindre, c'est-à-dire surtout sur le bord des cours d'eau.

Mes expériences finies sur le lait du caoutchouc, et mon procédé bien arrêté, je me suis occupé de rechercher quelle était la richesse moyenne de chaque arbre en lait, la plus grande quantité qu'on pouvait en extraire en une seule fois, le travail qu'un homme pouvait faire par heure et par jour. Commencées au Vénézuéla, mes études ont été finies au Brésil.

Les *Hevœa* sont disséminés dans les forêts à des intervalles très variables. Dans l'Orénoque, on en trouve tous les 20, 25 mètres, quelquefois même plus loin ; dans les Cassiquiare, on trouve un caoutchouc tous les 10, 12 mètres carrés; dans ses affluents de droite, le Pacimone et le Siapa, ils sont si abondants qu'ils se touchent presque. Dans le Rio-Negro, de l'embouchure du Cassiquiare au Cucui, ils sont environ à 15 mètres les uns des autres; à Maravitana un peu moins serrés, pour cesser presque vers Taparucuara, ils recommencent au-dessous du Raudal de San-Gabriel; dans l'Amazone, de Manaos au Para, ils ne sont pas plus rapprochés dans la Pacimone et le Siapa.

Richesse de l'Hevæa en lait. — Dans l'Orénoque, tandis que chaque arbre ne fournit pas en moyenne plus de 40 à 50 grammes de lait, il en donne au contraire de 80 à 100 dans le Rio-Negro, de 125 à 150 et au-dessus dans le Cassiquiare; la proportion de la richesse de l'*Hevæa* en lait suit donc, on le voit, la proportion de la richesse des forêts en *Hevæa*.

Cependant, il semble que dans tous les arbres d'une même forêt, la montée et la descente de la sève ne se fassent pas de la même façon, je veux dire à la même époque; il y a même des différences de temps très notables. Tel arbre piqué, par exemple, n'a rien produit jusqu'au mois de janvier, tandis que tous les

autres donnent depuis septembre ou octobre; en janvier tout à coup, il peut se mettre à donner beaucoup, et cela peut s'arrêter brusquement pour lui et pour ceux qui produisaient au début de la saison. Beaucoup qui, cependant, ne paraissent pas souffrir, restent des années sans produire, ou la quantité de lait qui s'écoule est si faible qu'il ne peut arriver jusqu'à la liane conductrice. Certains, petits, chétifs, à la frondaison rare, donnent beaucoup de lait, et depuis de longues années; certains qui ont dû sûrement produire longtemps, couverts de cicatrices, couturés de verrues provenant d'anciennes saignées, ne donnent plus de lait; d'autres, très gros, superbes, de belle apparence, ne fournissent jamais rien; les causes en sont insaisissables. Il faudrait de nombreuses années, de longues études pour connaître à fond la physiologie et la pathologie de l'*Hevæa*; son latex, en tout cas, est sûrement fort capricieux et il est bien difficile de dire la loi à laquelle il est soumis.

Résultat d'expériences sur le travail possible. — Transportons-nous vers le milieu du Cassiquiare et admettons que chaque arbre fournisse 100 grammes de lait en moyenne.

Dire ce que l'Indien produit moyennement, ce qu'il peut même faire de travail dans la journée est impossible. Quand il veut bien travailler, il est si inconstant, si changeant d'activité, qu'on ne peut saisir aucune donnée suffisante à ce sujet.

Je ne parlerai donc que d'après ce que j'ai pu faire moi-même, travaillant comme travaille d'ordinaire un journalier européen. Pendant quinze jours, je suis arrivé à piquer une moyenne de 114 arbres par heure; travaillant huit heures par jour, je piquais donc 912 arbres dans un jour, et, — tenant compte de la déperdition et

du déchet, — coagulais au minimum la somme énorme de 80 kilogrammes de lait en une journée.

La planche fraîche perd en séchant environ 35 p. 100 de son poids primitif; en faisant la part du cernamby, et en ne travaillant que huit heures, j'ai fait une moyenne par jour de 50 kilogrammes de caoutchouc pur, fin et sec. Mon caoutchouc a été vendu à cette époque à raison de 7 francs le kilogramme; je réalisais donc un gain de 350 francs par jour. Par suite de la révolution brésilienne, le caoutchouc du Para vaut actuellement 10 francs le kilogramme, au lieu du cours antérieur de 7; il menace d'atteindre 14 et 15 francs.

Au cours d'aujourd'hui, j'aurais donc gagné 500 fr. par jour.

Ces chiffres paraissent exorbitants, exagérés, et je n'oserais pas les donner ici si je ne les avais soigneusement établis moi-même d'après mes propres travaux.

Un travailleur qui veut travailler, un émigrant par exemple, peut donc, en fournissant un travail peu considérable de six heures par jour, avoir facilement à lui 1.000 arbres préparés ou deux doubles picas; il en piquera 500 par jour, 250 le matin et 250 l'après-midi, et il fera très aisément ses 50 kilogrammes de caoutchouc par jour.

Inutile de dire qu'aucun Indien n'arrive à ce chiffre, comme moyenne, dans la saison, avec le procédé du fumage.

Au début de la récolte, il faut à un travailleur huit jours pour s'installer, reconnaître ses arbres, percer ses picas. Chaque arbre est disposé en cinq minutes avec sa liane, sa glaise; plus rapidement encore avec les godets que j'ai proposés plus haut, cela une fois pour toutes au commencement de la saison. Les arbres

étant, par exemple, à 15 mètres les uns des autres (Cassiquiare), cet homme fera dans sa journée de 7 à 8 kilomètres pour les suivre tous.

La hachette à piquer indienne. — Les Indiens piquent l'arbre à lait au moyen d'une petite hachette, pas plus grosse que le bout du pouce et fixée à l'extrémité d'un manche de bois d'un pied de longueur; le tranchant a $0^{m},015$ de hauteur; ils l'appliquent sur l'écorce, obliquement par rapport au grand axe de l'arbre; un coup sec est appliqué avec un rotin sur le dos de la hachette, dont le tranchant alors mord l'écorce : la piqûre est ainsi produite. Ils font généralement quatre piqûres obliques sur une même ligne verticale, quelquefois moins, quelquefois plus; ils établissent quatre ou cinq lignes de ces piqûres par quatre autour de l'arbre et à diverses hauteurs, de manière, autant que possible, que le lait d'une ligne de piqûres vienne aboutir à une ligne inférieure et correspondante; c'est utile, car les premières gouttes qui s'écoulent, je l'ai déjà dit, se collent à l'arbre et sont perdues, mais servent de rigole, de fil conducteur aux gouttes suivantes, qui se chassent l'une l'autre pour tomber en petit ruisseau d'abord dans la liane, puis dans le godet; c'est un inconvénient que supprimerait mon godet, mentionné plus haut, car le lait, pour arriver jusqu'à la liane, entraîne forcément des poussières, des débris d'écorce, pour si bien nettoyé que soit l'arbre.

Ma hachette. — Pour aller plus vite, j'ai imaginé, en place de hachette, un outil de fer à quatre mors : c'est une série de quatre dents ou autant de hachettes successives, qu'un coup de maillet, appliqué sur le dos, enfonce ensemble dans l'arbre; il fait donc, d'un

seul coup, le travail obtenu par quatre coups de la hachette de l'Indien.

Je trouve, en outre, qu'il y a avantage à se servir de petites échelles portatives et articulées qui permettent d'atteindre l'arbre sur une hauteur de 3 ou 4 mètres; c'est à peine, en effet, si l'Indien le pique sur une hauteur de 75 centimètres.

De l'abatage des arbres. — J'ai été amené à rechercher s'il n'y aurait pas avantage à piquer les arbres sur la plus grande superficie possible; le seul moyen mécanique était de les abattre pour pouvoir saigner le tronc tout entier, chose facile, car l'*Hevæa* n'est pas dur; un, de moyenne grosseur, est abattu en cinq minutes par un bûcheron.

Je devais récolter ainsi la plus grande quantité de lait possible; je devais vider et épuiser l'arbre de tout son latex.

Résultats favorables. — L'Indien pique sur une hauteur de 75 centimètres à 1 mètre; mettons 1 mètre; il recueille ainsi à peine 100 grammes de lait.

Au contraire, qu'on abatte l'arbre, qu'on le saigne dans toute son étendue, on forcera ainsi à couler toute la sève qu'il contient, et ce même arbre donnera 25 litres de lait. J'en ai plusieurs fois fait l'expérience : un canal de bambou, placé sous un arbre abattu, recueillait tout le lait coulant par les saignées. Chaque saignée, dans ce système, doit être une simple boutonnière ne dépassant pas 2 centimètres d'ouverture. De larges saignées entourant tout le tronc ne laissent s'écouler que très peu de lait, par un phénomène tout mécanique. Une goutte devant pousser une autre goutte, sa précédente, et la forcer à tomher, si la blessure est longue

et large, le lait se coagule sur ses deux lèvres béantes en nappe, la goutte n'existe pas, et rien ne s'écoule. De même, par une sorte de décortication de l'arbre, le couteau agissant presque parallèlement au grand axe et faisant sauter des copeaux d'écorce, on n'obtient aucun résultat.

Il semblerait donc au premier abord qu'il y ait un immense avantage à couper les arbres et à les épuiser complètement d'un seul coup. La destruction des arbres, ai-je dit, n'a aucune importance, la forêt étant, pour ainsi dire, inépuisable.

J'avais cru ce procédé merveilleux, mais je dois dire que sa mise en pratique ne m'a pas donné une somme de résultats sensiblement supérieure à celle des simples piquages journaliers.

Inconvénients de ce système. — L'arbre est vite coupé; si donc il tombait de suite, le résultat serait rapide, important. Malheureusement il n'en est pas ainsi : dans un bois aussi fourré, aussi épais qu'une forêt vierge, un arbre d'une certaine taille, complètement sectionné à sa base, reste cependant debout, pour ainsi dire, fixé solidement par de puissantes lianes s'enroulant comme des anneaux de serpent autour de son corps et autour des arbres voisins, retenu même par ces arbres, car toutes les cimes se touchent, se confondent, se soutiennent mutuellement; quand le tronc est coupé et que, la force aidant, on le fait glisser à terre, le sujet reste droit, sa cime est maintenue par les branches maîtresses de ses voisins, et on a beau le secouer, il se refuse à tomber. C'est à ce point que pour avoir un arbre à terre dans une forêt vierge, il faut souvent faire la place nette à 15, 20 mètres tout autour, raser tous les arbres un peu gros du voisinage;

avoir un arbre, suppose donc en couper préalablement une douzaine d'autres de sa grosseur.

Comparaison des deux systèmes. — Pendant ce temps, on pourrait piquer cent, deux cents arbres préparés par la méthode ordinaire, et se donner beaucoup moins de mal. Au total, le résultat de la journée, comme caoutchouc produit, est à peu près le même dans les deux cas, mais avec beaucoup moins de mal d'un côté que de l'autre.

Cependant les deux systèmes peuvent être employés côte à côte; si un travailleur voit sur son chemin un hévé bien libre, sans lianes, car la forêt vierge a aussi ses clairières, faites surtout par la foudre, un hévé sans gros arbres tout autour, ou bien qu'il existe un vide où son arbre bien dirigé pourra tomber sans encombre, qu'il n'hésite pas, qu'il le coupe; on fait toujours tomber un arbre dans une direction voulue : c'est une question d'entailles; il recueillera son lait séance tenante. C'est le seul cas où le système de l'abatage puisse être pratiqué.

Je n'aurais pas fini cette question du caoutchouc dans l'Orénoque, si je ne disais de quelle façon les Indiens s'établissent et comment ils consentent à travailler.

Établissement des Indiens gomeros. — De l'embouchure de la Vichada, tout le long de l'Orénoque, du Cassiquiare et du Rio-Negro, il y a un grand nombre de travailleurs de caoutchouc appelés *gomeros* dans l'Orénoque, *syringueros* dans le Rio-Negro et l'Amazone. Comme les Indiens restent toujours sur les bords du fleuve, il arrive que, sur un espace de près de 3.000 kilomètres, leurs picas se touchent en bien des points, malgré le petit nombre de travailleurs; de la *barraca*

ou *sitio* d'une famille on peut souvent aller, par pica, à la *barraca* de la famille établie en amont ou en aval.

La pica est appelée plus spécialement *estrada* au Rio-Negro, quand elle sert à l'exploitation de la gomme.

Cependant beaucoup de ces estradas restent inexploitées de longs mois, parfois des années. La estrada est un fief appartenant à une famille, de père en fils; l'Indien propriétaire la travaille à ses heures, à sa guise, et personne ne s'y installe si lui-même la délaisse. Aussi se met-il au travail quand il lui plaît, et souvent pas du tout; il est certain de trouver sa pica toute faite, libre, ses arbres prêts, depuis les années précédentes, à recevoir la liane et à être piqués.

Ce ne sont là que des coutumes qu'aucune loi ne reconnait et destinées à disparaître quand des travailleurs viendront de l'étranger.

Les contractistos. — La répartition du travail et le mode d'achat aux Indiens sont assez curieux. Un *contractistos*, généralement *rationnal* ou Vénézulien métis un peu intelligent, prend à crédit pour 2, 3.000 piastres de marchandises dans les magasins de la compagnie française de l'Orénoque, par exemple. Puis il va chercher les Indiens dans leurs villages de Baltazar, de Yavita, etc., et il les établit; pour les y décider, il est obligé de leur donner d'*avance* et à *crédit* tout ce qu'ils demandent comme *recurso*, c'est-à-dire provisions, armes, étoffes, etc., etc., pour plusieurs mois. Sans cette avance, dont la rentrée est toujours problématique, les Indiens ne consentent jamais à se mettre au travail. Ils remettent peu à peu au contractiste le caoutchouc qu'ils font; ce dernier est obligé d'aller le chercher lui-même, de voir souvent ses travailleurs et surtout de les secouer beaucoup, s'il veut rentrer dans

ses déboursés. Jamais les Indiens ne sont rétribués en argent, ce genre de payement n'ayant pour eux aucune valeur.

Contractistes et Indiens, — contractistes surtout, parce qu'ils agissent plus en grand, — sont, à de rares exceptions près, une bande de gens de mauvaise foi. Les contractistes sont des métis divers, surtout d'Indiens et de noirs, race affreuse, parfois même des blancs : joueurs, voleurs, ivrognes, ce sont de parfaites canailles, dont heureusement la lâcheté égale la fourberie.

C'est une caste à éliminer complètement pour toute entreprise sérieuse qui ne devra compter que sur l'élément émigrant.

Il a été fait, en 1888-1889, 70.000 kilogrammes de caoutchouc par la compagnie de l'Orénoque, en une demi-récolte; si une organisation plus rapide et plus complète avait permis de faire une récolte entière, il est probable qu'on serait arrivé à 150 tonnes. Mais il est difficile de croire qu'on puisse jamais dépasser 200 tonnes dans cette région avec le seul élément indien.

Ce courtier marron, le contractiste, exploite les Indiens aussi odieusement qu'il essaye de voler son propre créancier. J'ai vu, pour une fourchette de fer, demander à un Indien 3, 4 kilogrammes de caoutchouc; leur vendre l'indienne, le coutil, à raison de 4 et 5 fr. la vare (moins d'un mètre), alors que le contractiste ne l'a payé qu'un franc à la compagnie française. Ils décuplent, ils centuplent, parfois, sur les prix, et essayent encore de voler le caoutchouc produit à la compagnie, de le faire filer en fraude vers Bolivar ou Manaos, où il sera acheté par les maisons de ces villes. Et cepen-

dant malgré leurs gains, leurs vices sont si grands, ils sont tellement *paniers percés*, qu'à la fin de la récolte ils n'ont plus un sou de leur argent, revenu, malgré tout, dans les caisses de la compagnie.

Les regateones. — Un autre système d'achat de caoutchouc aux Indiens consiste dans le *regattéage*. Un *rationnal*, qui a pu se procurer de la marchandise, court les baraques d'Indiens établis souvent par d'autres contractistes; ils profitent des besoins des Indiens, excitent leur convoitise et finissent par emporter à vil prix toute la gomme appartenant légalement à un de ses compatriotes qui l'a déjà payée d'avance.

Conclusion. — Voilà tout ce que j'ai pu recueillir sur le caoutchouc pendant dix-huit mois de séjour et de travail dans ces admirables et riches forêts, qui ne demandent que des bras pour fournir un travail rémunérateur et d'inépuisables trésors.

Je traiterai plus tard à fond la question des gutta-perchas, n'ayant pas encore de documents suffisamment complets.

D[r] Lucien Morisse.

CHRONIQUE

Production et exportation du cuivre au Japon.

Les relevés statistiques qui viennent d'être publiés au Japon nous montrent que la production et l'exportation du cuivre de ce pays ont augmenté dans des proportions considérables.

En 1881, les exportations ne s'élevaient qu'à 3 millions de catty (le catty = 604 grammes); l'année dernière, ce chiffre a été décuplé. C'est surtout en 1890 que les exportations augmentèrent dans la plus forte proportion; elles furent doubles de celles de 1889. La production a augmenté proportionnellement; aujourd'hui, elle peut être évaluée à environ 40 millions de catty par an.

Au début, c'était surtout l'Inde et la Chine qui absorbaient la majeure partie du cuivre japonais; mais, depuis quelques années, les envois sont dirigés principalement vers la Grande-Bretagne et Hong-Kong.

L'année dernière, les expéditions vers l'Angleterre diminuèrent brusquement, par suite, paraît-il, d'arrivages importants provenant de l'Amérique du Sud; par contre, Hong-Kong et la Chine en reçurent des quantités beaucoup plus grandes, de sorte que, comparativement à l'année 1890, il n'y eut qu'une diminution d'environ 3 millions de catty.

L'augmentation croissante de la production du cuivre dans es autres pays du monde, cause un certain malaise au Japon et, dans le cas où la dépression actuelle du marché s'accentuerait, il serait à craindre que l'industrie japonaise traversât une crise qui lui serait probablement fatale.

(*L'Industrie électrique,* 25 juillet 1892.)

Le tramway électrique de Marseille.

Le tramway électrique, récemment établi à Marseille pour desservir la banlieue dans la direction et sur le tracé de la route d'Aix, fonctionne avec grand succès.

Les accidents sont très rares, et les recettes couvrent, dit-on, quatre fois les dépenses.

La ligne part de la Cannebière, remonte la rue d'Aix, qui a une pente de 6 à 7 p. 100 et va jusqu'à Saint-Louis, point terminus de l'octroi, où se trouvent des usines importantes (raffineries, hauts fourneaux, huileries).

La ligne a une longueur de 6 kilomètres, et la différence de niveau entre les points extrêmes est de 60 mètres environ, soit 1 p. 100 de pente moyenne.

La voie est double sur la plus grande partie du parcours; l'usine qui produit le courant et qui contient trois dynamos de 100 chevaux, actionnées par des moteurs directs à 300 tours, fournit un courant de 100 volts au tiers du parcours, au moyen d'un câble en fer zingué, aérien, latéral, et de deux fils de cuivre de 4 millimètres suspendus au-dessus des voies.

Les voitures prennent le courant au moyen d'une roulette attachée à une perche presque verticale relevée par un ressort, et le renvoient à la station par les rails dont la conductibilité est assurée par un fer galvanisé soudé à chaque tronçon de rail.

Chaque essieu est actionné par une dynamo, au moyen d'une vis sans fin et d'une roue hélicoïdale enfermée dans une boîte en fonte.

La vitesse, réglée par un rhéostat, varie très facilement entre 0 et 15 kilomètres à l'heure. Outre le frein ordinaire, il existe, pour la descente de la rue d'Aix, un frein spécial formé par un coin qui s'enfonce entre le rail et le contre-rail et qui est très efficace.

La voiture à vide pèse 10 tonnes et pleine environ 13 tonnes; aussi prend-elle souvent plus de 25 chevaux électriques pour monter la rue d'Aix.

Les voitures sont éclairées le soir à la lumière électrique; elles ont une trompette à pompe et un sifflet à bouche, mais on leur reproche d'avoir l'avant et l'arrière trop semblables.

La mise en service, longtemps entravée par l'administration des postes et télégraphes, n'a été autorisée qu'après que la compagnie a pris l'engagement de payer 60.000 francs pour le doublage éventuel des fils de téléphone parallèles à la ligne, — ce qui n'a pas été fait jusqu'ici.

(*Bull. intern. de l'élect.*, 1er août 1892.)

Actions exercées par les écrans sur des forces électriques et magnétiques variables (*).

Un écran formé d'une substance imparfaitement conductrice exerce la même action qu'un écran métallique semblable si on lui en donne le temps; mais son action est diminuée si l'on fait usage d'une force électrostatique variant rapidement. Dès lors, il est facile de voir que l'action d'un écran sur des forces électrostatiques qui varient périodiquement sera d'autant plus faible que la variation sera rapide. On peut le démontrer expérimentalement en interposant entre les disques d'un électromètre une feuille de papier en communication métallique avec le disque dont une partie est mobile.

L'attraction disparaît quelques secondes après qu'une différence de potentiel a été établie et maintenue constante entre le disque attiré et le plateau métallique opposé si le papier et l'air qui l'entourent sont dans des conditions hygrométriques ordinaires; mais si l'instrument est employé à mesurer des variations rapides de différences de potentiel, l'action exercée par le papier diminue lorsque la fréquence des variations augmente. Avec du papier blanc ordinaire, l'action est nulle s'il y a de 50 à 100 variations par seconde.

L'action exercée par un écran sur une force magnétique variable est soumise à une loi opposée. L'auteur n'étudie que les corps dépourvus de susceptibilité magnétique et possédant une conductibilité électrique plus ou moins grande. Quelque parfaite que soit la conductibilité électrique d'un écran, il est sans action sur une force magnétique constante; mais si la

(*) Résumé d'une communication de Sir William Thomson à la *Roya Society*, V. *Proceedings of the Royal Society*, t. XLIX, p. 418.



force magnétique varie, il se produit dans l'écran des courants induits qui tendent à diminuer la force magnétique dans l'air du côté opposé à l'aimant. Plus la conductibilité de la substance est grande, plus son action en tant qu'écran est considérable pour une même fréquence de variations; et pour une même substance, son action comme écran est d'autant plus parfaite que les variations sont plus rapides.

Une feuille de cuivre qui enveloppe un électro-aimant forme un écran presque parfait si son épaisseur est de $2^{cm},75$ au moins et si le courant est renversé 80 fois par seconde.

Sir W. Thomson a fait construire un appareil dans lequel la variation de la force magnétique est produite par la rotation d'un aimant renfermé dans une enveloppe de cuivre. En donnant à l'aimant une vitesse de rotation suffisamment grande, on a pu annuler les variations de la force magnétique dans l'espace extérieur à l'enveloppe de cuivre et produire une force constante comme celle qui serait due à un aimant idéal. (*Journal de physique*, 3e série, t. I, août 1892.)

L'éclairage électrique à Dourgne.

La petite ville de Dourgne, dans le Tarn, vient d'installer la lumière électrique. L'éclairage comporte 140 lampes à incandescence alimentées par une dynamo à courants continus. La force motrice est fournie par le ruisseau du Tauron. Bien que ce petit cours d'eau n'ait qu'un débit de 15 à 18 litres par seconde, on a pu, en établissant un barrage de 6 mètres de hauteur, former un réservoir de 1.500 mètres cubes de capacité d'où part un tube en fonte aboutissant à l'usine et donnant 65 mètres de chute. L'eau ainsi amenée actionne une turbine centrifuge à axe horizontal. (*La Nature*, 13 août 1892.)

Procédé de décapage électrique Benjamin.

M. Georges H. Benjamin, de New-York, a inventé et vient de faire breveter un procédé pour décaper les tôles noires par l'électricité. Suivant la méthode ordinaire, les tôles à étamer sont plongées dans une solution faible d'acide sulfurique et ensuite frottées à la main pour enlever les impuretés, la graisse et la rouille. Dans l'appareil de M. Benjamin, un réservoir ren-



ferme le liquide de décapage, une solution de sulfate de soude ou d'acide sulfurique, par exemple, et il a une électrode positive, de préférence une tôle de fer et une claie portant les tôles à nettoyer, qui constitue l'électrode négative. Quand une dynamo est mise en communication avec ces électrodes, il se produit une action électrolytique; il se dégage de l'oxygène à l'électrode positive et de l'hydrogène à l'électrode négative. Cet hydrogène dégagé de la surface des tôles sert à réduire les oxydes qui se trouvent à leur surface ainsi qu'à décomposer toute la graisse qui peut s'y trouver et, enfin, à l'occasion, à détacher et à faire tomber toute la poussière ou les impuretés qui ont pu s'accumuler sur les tôles. Il suffit ordinairement de charger les plaques plongées dans une solution d'acide sulfurique et d'eau, en faisant arriver le courant d'une manière continue pendant une durée variant entre un et trois quarts d'heure. Lorsque les tôles sont couvertes d'une couche considérable de graisse, elles peuvent être plongées d'abord dans une solution de sulfate de soude, de chlorure de sodium ou de toute autre solution d'un sel neutre et chargées pendant quinze minutes environ, puis être introduites ensuite dans une solution d'acide sulfurique et d'eau et chargées de la manière ci-dessus décrite. Lorsque les tôles sont très sales, c'est-à-dire recouvertes d'une couche épaisse de rouille, il peut arriver qu'il faille continuer à faire passer le courant pendant plus longtemps, tandis qu'elles sont plongées dans le bain d'acide sulfurique. Après l'opération, les tôles sont retirées du bain, rincées à l'eau froide, puis séchées au moyen d'un chauffage rapide. Après ces opérations, elles sont prêtes à être plongées dans le bain d'étain.

(*Bull. intern. de l'électricité,* 15 août 1892.)

L'ivoire.

L'ivoire est un bon isolant, mais on l'emploie peu à cause de sa cherté. Un Américain a trouvé un procédé pour l'imiter. Il emploie les composés que contient l'ivoire naturel, c'est-à-dire du phosphate de chaux tribasique, du carbonate de chaux, de la magnésie, de l'alun, de la gélatine et de l'albumine.

La chaux vive est partiellement hydratée, ensuite traitée par une solution d'acide phosphorique. Tout en opérant ce mélange, on ajoute par petites quantités de la craie, de la magnésie et de l'alun; finalement on ajoute la gélatine et l'albumine dissoutes dans l'eau.

La masse doit être aussi homogène que possible; on la laisse reposer pendant vingt-quatre heures pour permettre à l'acide phosphorique d'achever son action sur la chaux. On peut ensuite donner à la masse, très plastique, la forme voulue, après quoi on la fait sécher dans une étuve à circulation d'air à 150° C., pendant peu de temps.

Au bout d'un mois, les objets sont complètement secs, et présentent absolument l'aspect de l'ivoire, dont ils ont la dureté. Les proportions de substances employées sont les suivantes : chaux 100 parties, eau 300, solution d'acide phosphorique de densité 1,05, 75 parties, craie 16, magnésie 1 à 2, alun 5, gélatine 15 parties.

(*La Lumière électrique*, 10 septembre 1892.)

Utilisation du glucinium.

A en croire M. Réginald Fesenden, ce métal à peu près inconnu pourrait être appelé à jouer un rôle en électricité. Alors que le poids spécifique de l'aluminium est de 2,7, celui du glucinium n'est que de deux environ.

La rigidité du fer étant 10° C. de 750, celle du glucinium est de 1.350, et pour un fil de 1 millimètre de diamètre, la résistance à l'allongement est de $47^{kg},7$ pour le fer contre 65 kilogrammes pour le glucinium. La conductibilité du nouveau métal est de 105, celle de l'argent égalant 100. Si son emploi se généralisait, on pense pouvoir l'obtenir à environ 180 francs le kilogramme. (*Sciences et Commerce*, 20 septembre 1892.)

L'Éd.-Gérant DUNOD. – PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES

TÉLÉGRAPHIQUES

Année 1892 Novembre-Décembre

SUR LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES

DE L'ÉTAT VARIABLE EN GÉNÉRAL

ET DES COURANTS ALTERNATIFS EN PARTICULIER

Je désire appeler l'attention, sur un sujet d'actualité : les effets physiologiques des courants alternatifs, et tirer, s'il est possible, quelques conséquences pratiques de cette étude. L'électricité révolutionne actuellement non seulement l'industrie, mais aussi quelque peu la médecine; et si elle tue parfois, elle est plus souvent encore un agent de guérison. Elle a sur les médicaments pharmaceutiques le grand avantage d'être toujours inoffensive, à doses thérapeutiques, et présente dans son mode d'emploi une élasticité dont sont dépourvues ces derniers.

On dit souvent que l'action d'un médicament dépend en grande partie de la façon dont il est administré; cette notion devient un axiome quand il s'agit de l'électricité. Suivant qu'on donne à l'énergie électrique

telle ou telle modalité physique, on peut produire les effets les plus divers, et même les plus opposés, sur les êtres vivants. Au point de vue tout spécial où nous nous plaçons ici, on peut établir une division fondamentale des effets de l'électricité suivant qu'on emploie *l'état variable* ou *l'état permanent* du courant.

Cette distinction, admise par tous les physiologistes, s'impose également en électrothérapie et se justifie par l'examen même le plus superficiel. L'état variable, sur un être vivant, se traduit par une excitation très violente des nerfs et des muscles qui entrent en contraction, tandis que rien d'analogue ne se manifeste dans l'état permanent si l'on emploie un courant de force modérée.

Une expérience très élégante de Claude Bernard met bien ce fait en lumière. On place dans le circuit d'une pile une roue interruptrice de Masson, un voltamètre et une grenouille préparée à la Galvani. En laissant la roue immobile, on fait passer le courant de la pile à travers les trois appareils à la fois; le voltamètre dégage des gaz, la patte de grenouille reste immobile. On a les effets du courant permanent. Si l'on vient à mettre la roue de Masson en mouvement, le dégagement gazeux cesse presque complètement dans le voltamètre, tandis que la patte de grenouille entre en contraction violente. Le courant qui la traverse est pourtant plus faible que dans le premier cas, mais on a les effets physiologiques dus à l'état variable. Cette simple expérience nous montre que les effets physiologiques du courant (action sur la sensibilité et la motricité) ne sont nullement sous la dépendance de son intensité absolue.

Si, au contraire, le courant est très fort, on peut

avoir des manifestations extérieures durant l'état permanent, mais ces manifestations tiennent uniquement dans ce cas à l'électrolyse interstitielle des tissus et à la décomposition qui a lieu *dans toute leur masse*, ainsi que l'ont bien mis en évidence les expériences récentes de M. Weiss. On peut dire que, dans ces conditions, ce n'est pas l'électricité qui agit, mais bien les produits chimiques libérés par le passage du courant dans l'intimité même des tissus. On a affaire à un simple excitant chimique engendré par l'électricité sur son passage et dépendant uniquement de l'intensité du courant, conformément aux lois de Faraday.

C'est sur cette action particulière que Ciniselli, et surtout le docteur A. Tripier, ont fondé une branche importante de l'électrothérapie ; je veux parler de l'électrolyse ou cautérisation et destruction potentielle des tissus vivants par le courant continu.

Pour doser les effets du courant permanent sur les êtres vivants, nous avons un moyen simple. Puisque son action dépend uniquement de l'intensité, il suffira donc de mesurer cette dernière avec un galvanomètre. Quant à ses effets locaux, aux points d'entrée et de sortie, ils dépendent également de l'intensité par unité de surface, c'est-à-dire de la *densité*. D'après cela, les divers expérimentateurs se mettront dans des conditions physiquement définies en employant des galvanomètres gradués en unités absolues. Ces appareils ont été répandus en France, dans le public médical, dès 1873, par A. Gaiffe, et leur adoption est devenue générale depuis le Congrès de 1881, sur la proposition que j'en ai faite avec M. Marey à la Commission internationale d'électrophysiologie (*). Les observa-

(*) Voir d'Arsonval, Compte rendu de la Commission d'électrophysio-

tions médicales y ont gagné en précision et en unité.

Si nous savons à quelles conditions physiques rapporter les effets physiologiques de l'état permanent, si nous pouvons surtout aisément les mesurer, il n'en est pas de même pour l'état variable. Par quel facteur devrons-nous définir la puissance physiologique d'une excitation électrique? Cette importante question a été agitée en 1881 au Congrès d'électrophysiologie, mais ne put donner lieu alors qu'à un échange de vues plus ou moins hypothétiques : la base expérimentale manquait. C'est depuis cette époque que j'entrepris une série d'expériences systématiques sur ce sujet qui intéresse non seulement la physiologie, mais qui doit servir de base à l'électrothérapie. Pour l'intelligence de ce qui va suivre, je vais résumer brièvement les méthodes que j'ai employées à cet effet et les conclusions auxquelles j'ai été conduit.

Au *point de vue physiologique*, une excitation électrique produite par l'état variable ne peut être définie par les données servant de mesure à l'état permanent. Pour en faire une analyse complète, il faut connaître *tous* les éléments *à chaque instant de la variation.* Cela revient à dire qu'il faut avoir la courbe complète de la variation, c'est-à-dire la *forme physique de l'onde électrique* d'excitation. C'est cette courbe particulière à chaque excitation électrique que j'ai appelée : *la caractéristique de l'excitation*. Mais, pour tracer cette courbe en fonction du temps, quelle variable devrons-nous prendre? *A priori*, ce ne peut être l'intensité, en vertu même de l'expérience de Claude Bernard relatée plus haut. Il est facile, d'autre part, de montrer que

logie (*Revue scientifique*) et Rapport de M. du Bois-Reymond (même recueil); 1881.

c'est la variation du potentiel *au point excité* qui est le facteur important dans l'excitation du système nerveux. Prenons un nerf moteur relié à une masse musculaire dont nous pourrons enregistrer les mouvements à l'aide du myographe. Excitons ce nerf *en un point quelconque de sa longueur* ou moyen du pôle *négatif* d'une pile thermo-électrique dont le pôle *positif* sera relié à la masse musculaire (excitation unipolaire de Chauveau). La contraction du muscle restera sensiblement la même *quel que soit le point du nerf que l'on excite.* A cause de l'énorme résistance du nerf (10 à 25000 ohms pour le nerf sciatique de la grenouille comparée à celle de la pile qui est négligeable, le potentiel aux points excités successivement sera resté constant, mais l'intensité du courant traversant le nerf, à chaque contact, aura varié dans d'énormes proportions. On peut faire l'expérience inverse, c'est-à-dire exciter le nerf à *intensité constante* en faisant varier la force électromotrice de la pile proportionnellement à la longueur du nerf intercalé. Dans ce cas, l'énergie de la contraction musculaire augmente avec le potentiel au lieu de rester constante comme l'intensité (*). Ces deux expériences qui se complètent et se contrôlent mutuellement montrent d'une manière très nette que, pour tracer la caractéristique d'excitation, il faut prendre $e = f(t)$ et non pas $i = f(t)$.

Au début de mes expériences (octobre 1881), je cherchai à tracer l'onde électrique provenant des électromoteurs généralement employés en physiologie. Je rencontrai des difficultés insurmontables et je renonçai

(*) L'idée de cette dernière expérience m'a été suggérée par un des auditeurs assidus de mon cours au Collège de France, M. le docteur Rozier.

très vite à procéder par *analyse* pour opérer au contraire par *synthèse*.

Pour réaliser la synthèse d'une onde électrique de forme quelconque, j'imaginai la méthode suivante (*) qui me donna pleine satisfaction; le schéma ci-joint est destiné à faciliter l'intelligence de la description, mais il ne doit être considéré que comme un simple dessin schématique donnant le principe de la méthode (*fig.* 1). Soit P une source constante d'électricité (accumula-

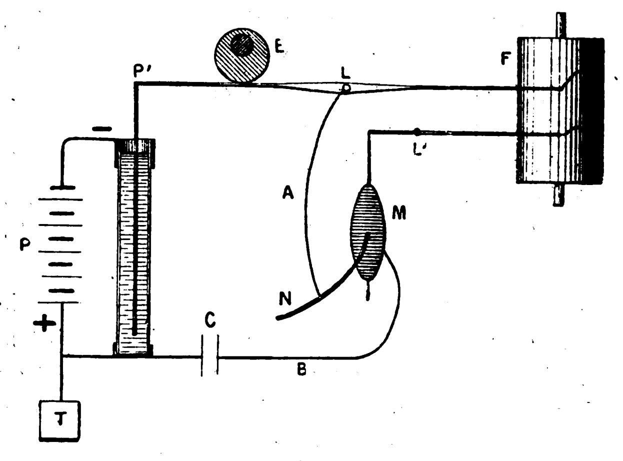


Fig. 1.

teurs) dont le circuit est fermé au travers d'une colonne liquide de sulfate de cuivre en solution saturée contenue dans un tube de verre. Le courant entre par le bas et ressort par le haut au moyen de contacts en cuivre rouge. L'autre pôle est mis à la terre et se trouve au potentiel zéro. La partie supérieure de la colonne liquide est, au contraire, à un potentiel négatif de 2, 3 ou 10 volts à volonté. Le potentiel décroît régu-

(*) Voir *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1er avril 1882.

lièrement le long du tube d'après une loi bien connue. Supposons qu'un fil métallique P′ en cuivre, isolé jusqu'à sa pointe inférieure, puisse monter et descendre le long de la colonne. Si nous supposons la pointe au fond du tube, le potentiel est zéro; mais, en relevant le fil, son potentiel va croître régulièrement. Attachons rigidement ce fil à l'extrémité d'un levier mobile autour du point L, l'autre extrémité se déplaçant le long d'un cylindre enfumé F. Il est facile de voir que les déplacements de la pointe du levier L sur le cylindre F inscriront les phases et les grandeurs de la variation du potentiel du fil plongeur P′. Pour avoir une courbe déterminée d'avance, je fais osciller le levier L par la rotation d'un excentrique E, dont on taille le profil en conséquence. En pratique, j'attache le fil P′ soit à une tige vibrante, soit à un pendule qui donne une variation sinusoïdale du potentiel. J'obtiens toute autre forme et toute vitesse en attachant ce fil à un ressort plus ou moins tendu (fil de caoutchouc) que je déclenche mécaniquement pour produire l'excitation. Si le fil A′ était mis simplement en rapport avec le nerf N communiquant à la terre, cet organe serait parcouru par un courant continu qui en modifierait l'excitabilité. J'évite cet inconvénient en faisant passer le courant dans le primaire d'une bobine d'induction ou bien en intercalant un condensateur étalonné en C. Le muscle M, excité par le nerf N, est attaché au levier myographique L′, qui trace la courbe de la contraction musculaire au-dessous de la caractéristique d'excitation, tracée par le levier L. Dans la méthode unipolaire, le pôle négatif de la pile correspond au plongeur et le pôle positif est à la masse musculaire, à la façon habituelle. De cette manière, le levier L

enregistre exactement les variations du potentiel au point excité et le nerf ne peut se polariser.

Ces expériences m'ont amené à formuler la loi suivante : *L'intensité de la réaction motrice ou sensitive est proportionnelle à la variation du potentiel au point excité* (*).

La conséquence pratique de toutes ces expériences, dont je ne peux indiquer ici que la conclusion générale, est que pour définir l'action physiologique et thérapeutique d'un appareil électro-médical quelconque, à courant interrompu, il faut connaître, en fonction du temps, la loi de variation de la force électromotrice *aux points d'application des électrodes* sur le sujet. Voici un appareil que j'ai imaginé dans ce but.

Il permet de tracer automatiquement cette courbe en employant comme source d'électricité un appareil médical magnéto-faradique quelconque à faible fréquence. Il est fondé sur le même principe que le galvanomètre à circuit mobile que j'ai fait connaître en 1881, avec M. Marcel Deprez, et dont l'emploi s'est généralisé depuis en électrométrie, et se substitue actuellement en électrothérapie aux galvanomètres à aiguille aimantée (*fig.* 2). Il se compose d'un puissant aimant (ou électro-aimant) TT'NN' créant un champ magnétique annulaire comme dans mon téléphone. Dans ce champ peut osciller une légère bobine *b* parcourue par l'onde électrique dont on veut inscrire la forme. En vertu d'une action bien connue, cette bobine se déplacera dans le champ et son déplacement mesu-

(*) Voir d'Arsonval, *Société de biologie*, 1er avril 1882; — *Société de physique*, 1885 et 1891; — *Lumière électrique*, 1887; — *Archives de physiologie*, 1889; — *Académie des sciences*, 1891; — *Société française d'électrothérapie*, 1891,

rera à chaque instant les variations du courant qui la traverse. Pour inscrire à distance ce déplacement et l'amplifier en même temps, la bobine est suspendue à la membrane de caoutchouc d'un tambour de Marey *c*. Ce premier tambour est relié à un second tambour amplificateur plus petit *c'* portant un levier inscripteur se déplaçant sur un cylindre enfumé R, mû par un mouvement d'horlogerie.

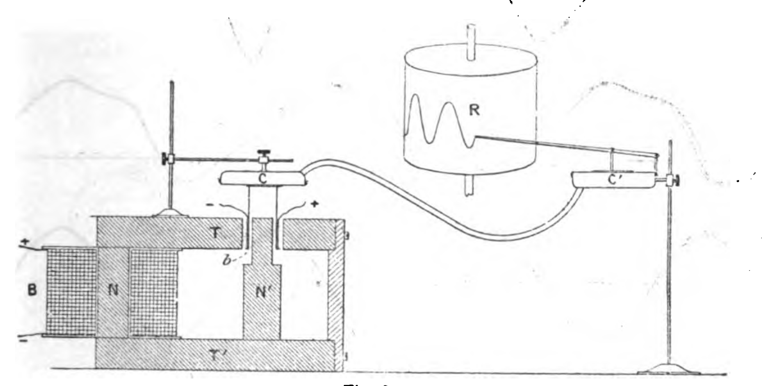


Fig. 2.

L'instrument constitue un galvanographe très sensible inscrivant à distance par le mécanisme bien connu des tambours à air de Marey employés en physiologie. On obtient ainsi automatiquement la courbe de l'onde électrique émanant de l'électromoteur employé et l'on peut comparer facilement entre elles les différentes machines. Voici, à titre d'exemple, trois courbes provenant de trois appareils différents (*fig.* 3). La première provient d'une petite machine magnéto, genre Clarke (modèle médical de Gaiffe), à courants non redressés. On voit que la variation n'est pas uniforme. La seconde provient d'une machine analogue, mais à courants redressés (on voit qu'ils le sont incomplète-

ment). Enfin, la troisième courbe (qui est très régulière) provient d'une petite machine médicale que j'ai

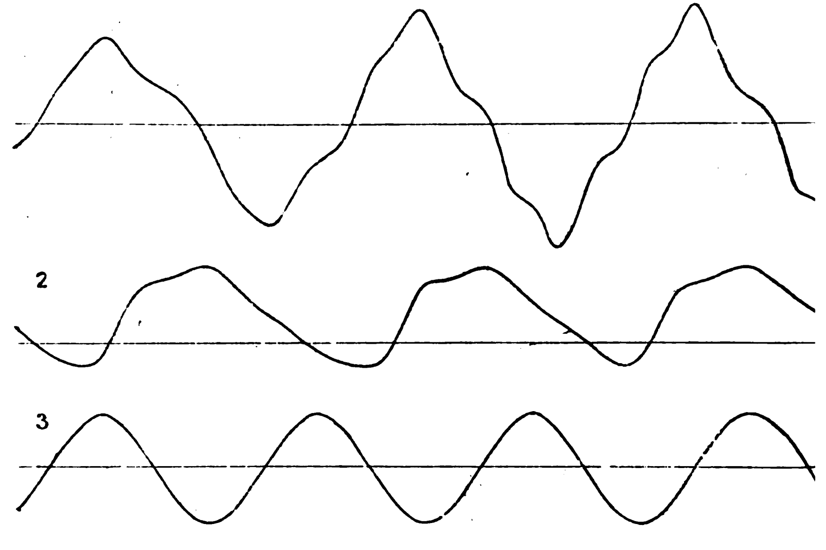


Fig. 3.

imaginée pour avoir un courant dont la variation soit sinusoïdale. C'est une machine, genre Pixii, modifiée de la façon suivante (*fig.* 4) : Un aimant circulaire NS se meut devant un électro-aimant fixe E, autour d'un axe AA′ commandé par la roue dentée R et la manivelle M. On recueille ainsi aux fils marqués + et — le courant représenté par la courbe 3 de la *fig.* 3. Ce courant sinusoïdal, à variations régulières, jouit de propriétés précieuses, comme je le dirai tout à l'heure. Il a l'avantage de ne donner aucun choc brusque, d'amener graduellement le tétanos du muscle (suivant la rapidité de la rotation) sans douleur, et son passage ne s'accompagne d'aucun phénomène d'électrolyse.

Dans cette forme de courant alternatif, tout est connu : on peut opérer toujours dans les mêmes conditions, contrairement à ce qui a lieu avec les appareils d'induction à trembleur, dont les effets varient non seulement de l'un à l'autre, mais aussi pour le même appareil suivant les caprices de l'interrupteur et de la pile qui le met en vibration.

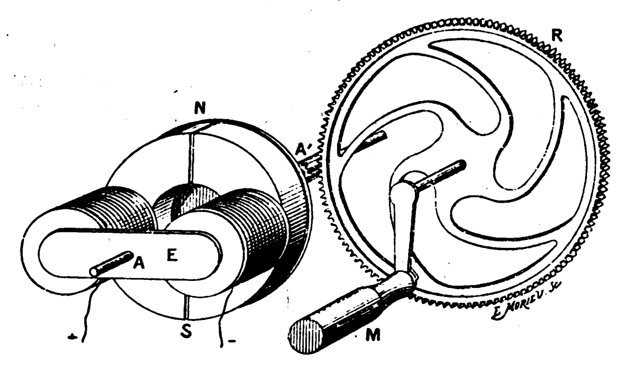


Fig. 4.

Au point de vue de la pratique médicale, j'ai été conduit à étudier tout spécialement les excitations électriques produites par les courants alternatifs à variation sinusoïdale.

Dans ce cas, l'onde électrique est définie par deux facteurs : 1° la fréquence, c'est-à-dire le nombre d'alternances par seconde; et 2° l'ordonnée maxima qui représentera pour nous la variation maxima du potentiel au point excité.

Dans la pratique médicale, il est nécessaire de pouvoir faire varier ces deux facteurs d'une manière indépendante et d'en avoir la mesure à chaque instant. Le dispositif ci-dessous est destiné à résoudre pratiquement ce problème.

Soit CC′ un anneau Gramme portant d'un côté de l'axe le collecteur ordinaire avec ses balais B, B′, et de l'autre côté deux bagues métalliques isolées, communiquant respectivement avec chaque moitié de l'anneau par deux prises de courant situées sur l'induit à 180°. L'anneau tourne dans un champ magnétique créé par un courant indépendant traversant l'inducteur I par les fils marqués + et —. Si l'on met l'anneau en mouvement par une force mécanique extérieure, on recueillera aux balais B, B′ un courant continu et aux frotteurs K, K′ un courant alternatif à variations sinusoïdales.

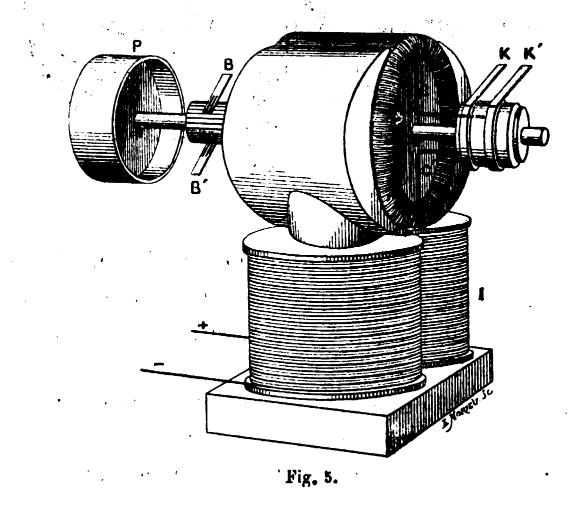


Fig. 5.

En plaçant sur l'axe de la machine un indicateur de vitesse, on connaît à chaque instant la fréquence du courant. Quant à la force électromotrice maxima, elle est donnée tout aussi simplement et d'une manière continue par un voltmètre ordinaire à courant continu, relié aux deux balais B, B′.

On fait varier la fréquence en changeant la vitesse

de rotation et la force électromotrice en modifiant le champ magnétique créé par l'électro. Dans le modèle, construit sur mes indications par M. Gaiffe, l'inducteur est constitué par un aimant permanent qu'on approche plus ou moins des épanouissements polaires pour modifier le champ. Le voltmètre donne aussitôt la valeur de l'ordonnée maxima et l'indicateur de vitesse, la fréquence. Les deux éléments de la sinusoïde sont donc connus à chaque instant, et l'opérateur leur donne la valeur qu'il désire. Je ferai remarquer qu'en amenant un courant continu, provenant d'une pile, par exemple, aux balais B, B', on recueillera en KK' un courant sinusoïdal. En mettant BB' en communication avec un réseau à 110 volts continus, et en intercalant un rhéostat convenable, on recueillera en KK' des courants sinusoïdaux dont le voltage pourra varier de 110 à 20 volts, par exemple, et avoir ainsi une installation très simple.

Les courants alternatifs, à variation sinusoïdale, ont sur l'organisme plusieurs actions intéressantes, dont j'ai fait une étude spéciale, que je résume brièvement dans cette note : 1° en étalant la sinusoïde, on peut faire traverser l'organisme par des courants assez intenses, ne donnant ni douleur, ni contraction musculaire, ni action chimique. Cette absence d'action physiologique n'est pourtant qu'apparente, car, si l'on analyse les gaz de la respiration, on constate que le passage de ce courant s'accompagne d'une augmentation dans l'absorption d'oxygène et dans l'élimination d'acide carbonique; 2° en augmentant la fréquence graduellement, on arrive à provoquer des contractions musculaires énergiques, mais qui sont infiniment moins douloureuses, à intensité égale, qu'en se servant

d'une bobine d'induction. Cela tient à ce que les variations du courant se font d'une manière parfaitement régulière avec l'appareil que je viens de décrire. Dans ces conditions, les combustions respiratoires s'exagèrent considérablement et ces courants agissent puissamment pour modifier la nutrition. Un certain nombre d'électrothérapeutes, et notamment MM. Gautier et Larat, en appliquant à la clinique ces données physiologiques, ont obtenu des résultats très intéressants qu'ils ont signalé en partie à l'Académie. L'expérience ayant démontré le bénéfice que la thérapeutique peut tirer de l'électrisation sinusoïdale, le dispositif que j'indique a pour but de produire et de doser facilement ce genre de courants.

J'arrive maintenant aux expériences que j'ai instituées pour comparer les effets sur la nutrition (effets trophiques) des divers modes d'électrisation (*).

Pour constater ces effets, je me suis adressé à des phénomènes objectifs facilement mesurables. J'ai mesuré, d'une part, les variations d'absorption de l'oxygène et de production de l'acide carbonique, et, d'autre part, les variations de la *production* de la chaleur (calorimétrie animale) au moyen de procédés spéciaux que j'ai fait connaître antérieurement (voir *Société de Biologie*, 1877).

J'ai étudié successivement l'action trophique : 1° du bain statique ; 2° de la faradisation générale ; 3° du courant continu ; 4° du courant alternatif sinusoïdal.

1° Pour le bain statique, je ferai remarquer d'abord

(*) Voir d'Arsonval, *Cours de médecine au Collège de France, Applications médicales de l'électricité*, 1889, 1890 et 1890-1891 ; — *Société de biologie*, 24 février 1891 ; — *Société française d'électrothérapie*, mai-juin 1891.

que cette dénomination est impropre. L'électricité n'est nullement à l'état statique ou de repos chez un sujet placé sur le tabouret isolant et en communication avec une machine en fonction. Le corps du sujet est parcouru par un courant constant, à très haut potentiel, qui s'échappe de lui à travers l'air comme circuit extérieur. L'intensité de ce courant, quoique faible, n'est nullement négligeable, comme le prouvent les nombres suivants tirés d'une de mes expériences. Le sujet placé sur le tabouret était à un potentiel négatif d'environ 30.000 volts et était traversé par un courant continu de 1/25.000 à 1/40.000 d'ampère venant de la machine (Holtz à 4 plateaux).

Le terme de *franklinisation* qu'on a déjà proposé pour ce genre d'électrisation me paraît préférable, car il ne préjuge rien.

Mes expériences ont porté sur l'homme et sur les animaux. Sous l'influence de la franklinisation, il y a constamment une légère augmentation des combustions respiratoires, et cela en dehors de l'action de l'ozone, car on n'obtient rien de semblable en plaçant le sujet dans le voisinage de la machine, mais sans le mettre en rapport avec elle.

Lorsque les animaux sont enfermés dans une atmosphère chargée d'air électrisé, les échanges respiratoires sont, au contraire, abaissés, ce qui tient, comme je l'ai indiqué en 1891 à la *Société de Biologie*, à la production de produits nitreux par l'effluve, produits qui diminuent rapidement la capacité respiratoire du sang, ainsi que me l'ont montré les analyses par la pompe à mercure.

2° Les courants faradiques généralisés amènent une contraction plus ou moins violente de tout le système

musculaire. Il y a alors exagération des combustions, mais cela tient uniquement au fonctionnement du muscle. On peut arriver, en effet, par ce procédé à produire un véritable tétanos électrique qui amène la mort de l'animal par hyperthermie, ainsi que l'a montré Charlet Richet notamment.

La faradisation généralisée très légère, ne s'accompagnant pas de tétanos ni de contraction musculaire apparente, peut néanmoins modifier les échanges nutritifs et augmenter la production de chaleur, ainsi que je l'ai montré sur le muscle isolé (*Société de Biologie*, 1887). Les bains par faradisation généralisée légère, proposée par Tripier, peuvent donc être considérés comme un moyen d'augmenter les combustions respiratoires par excitation à la fois du système musculaire et du système nerveux sensitif.

3° A mon grand étonnement, le courant continu auquel on prête des effets trophiques spéciaux ne m'a rien donné, ni sur l'homme, ni sur les animaux. Je suis donc fondé à dire que ses effets trophiques *immédiats* sont nuls. Des analyses faites vingt-quatre et quarante-huit heures après la voltaïsation ne m'ont pas donné de résultats plus saillants au point de vue des combustions respiratoires. Si le courant continu n'agit pas pour modifier les échanges respiratoires, peut-être augmente-t-il les sécrétions cellulaires qui jouent un si grand rôle dans l'organisme, comme viennent de le montrer nos expériences avec M. Brown-Séquard. C'est une hypothèse récente de Tripier qui mérite examen.

4° Les résultats les plus frappants m'ont été donnés par le courant sinusoïdal, courant figuré par la courbe 3 de la *fig.* 3. Sous son influence, on peut aug-

menter instantanément de plus d'un quart les échanges gazeux respiratoires, *et cela en dehors de toute contraction musculaire* et en l'absence de phénomènes douloureux. J'ai obtenu les mêmes résultats sur les animaux et sur l'homme. Ces recherches, que j'ai fait connaître en 1890 dans mes leçons du Collège de France, et en 1891 à la *Biologie* et à la *Société d'Électrothérapie*, ont engagé nombre d'électrothérapeutes à essayer la *voltaïsation sinusoïdale* en thérapeutique. Parmi eux, je peux citer MM. Tripier, Gautier, Larat, etc. MM. Gautier et Larat ont obtenu des effets thérapeutiques intéressants que j'ai communiqués à l'Académie de Médecine et à la Société de Biologie.

Je suis amené tout naturellement à présent à parler des dangers présentés par les courants alternatifs industriels, du mécanisme physiologique par lequel ils entraînent la mort et des moyens de remédier aux accidents qu'ils provoquent. J'ai déjà publié une partie des expériences que je vais rapporter (*), mais je les ai complétées plus récemment. J'ai essayé comparativement un alternateur Gramme et un alternateur Siemens. A voltage égal, ce dernier est plus dangereux. En faisant passer le courant de la tête à la queue sur un animal, une différence de potentiel de 300 volts alternatifs amène généralement la mort chez le lapin et le chien quant l'intensité atteint 1 ampère environ avec l'alternateur Siemens ; il n'en est pas de même avec l'alternateur Gramme. Cette différence est facile à expliquer d'après ce que nous avons vu plus haut. L'onde électrique de l'alternateur Siemens, dont l'induit ne contient pas de fer, est, en effet, beaucoup plus brusque, plus brutale, pourrait-on dire, que celle de l'alternateur

(*) *Société de biologie* et *Académie des sciences*, 4 avril 1887.



Gramme. De là ses effets physiologiques plus accentués pendant la fermeture du courant. Il en est tout autrement à la rupture. Si l'on abandonne l'animal à lui-même après ce choc électrique, l'arrêt de la respiration persiste généralement et la mort est définitive. Cette mort pourtant n'est qu'*apparente*, car, si l'on pratique immédiatement la respiration artificielle à l'aide d'un soufflet et d'une canule introduite dans la trachée, l'animal revient à la vie au bout d'un temps variable, en présentant parfois des paralysies partielles qui disparaissent spontanément. Si l'on pratique la respiration artificielle au moment même où l'on applique le courant, l'animal manifeste de la douleur, mais sans perte de connaissance : on ne peut le tuer alors par ce même courant qui amenait précédemment la mort. Il y a pourtant une limite qui est atteinte lorsque le passage du courant, en produisant le tétanos de tous les muscles du corps, a amené un échauffement portant la température centrale au-dessus de 45°. L'animal meurt alors parce que la chaleur coagule les fibres musculaires du cœur, comme l'a montré Claude Bernard. La preuve en est qu'on peut continuer l'électrisation à la condition de refroidir artificiellement l'animal.

L'échauffement considérable du corps dans l'électrisation n'est nullement due, comme on le croit, à la résistance du corps s'échauffant comme un conducteur conformément à la loi de Joule. Dans la dernière électrocution faite en Amérique, par exemple, la température du supplicié a été trouvée de beaucoup au-dessus de la normale après la mort. On avait fait passer un courant de 3 ampères pendant cinquante secondes sous 15.000 volts, soit 4.500 watts ou environ 1 calorie par seconde. L'échauffement de ce fait n'eût pas donné

plus de 50 à 60 calories pendant les cinquante secondes, ce qui, pour un homme du poids moyen de 75 kilogrammes, n'eût pas élevé sa température propre de 1° centigrade. La chaleur excessive amenée par l'électrisation est donc due uniquement à la contraction violente de tous les muscles. Cette chaleur excessive amène rapidement la coagulation de la fibre musculaire et la rigidité cadavérique par un phénomène semblable à celui qu'on observe chez les animaux forcés à la course ou fourbus, phénomène bien connu des chasseurs. La mort par le courant alternatif est donc due, d'une part, à l'arrêt de la respiration qui produit l'asphyxie, et, d'autre part, à l'élévation de température due à la fois à l'asphyxie, comme l'a montré M. Brown-Séquard, et à la contraction violente et généralisée du système musculaire due à l'état variable du courant. Je ne saurais trop insister sur ce fait expérimental que les courants alternatifs industriels peuvent n'amener le plus souvent qu'une mort *apparente*, le retour à la vie étant généralement possible si la respiration artificielle est pratiquée *immédiatement*. Un *foudroyé* doit donc être traité exactement comme un *noyé*. Quand le choc électrique a été de courte durée (ce qui est généralement le cas), c'est l'arrêt de la respiration qui amène la mort comme dans la submersion : les contractions musculaires ont été alors de trop courte durée pour amener la coagulation des muscles par l'échauffement.

Ces expériences montrent que l'électrocution ne constitue nullement un progrès sur la décapitation. L'électrocution a l'avantage, disent ses partisans, d'éviter l'effusion du sang. C'est très vrai, c'est un avantage, oui, mais pour l'exécuteur et les témoins

seulement. Quant au supplicié, rien ne prouve qu'il perde la conscience au moment où l'on établit le courant homicide. L'animal électrisé la conserve, comme je vous l'ai dit plus haut, si l'on pratique la respiration artificielle en même temps; et, quand l'exécution est faite, la mort n'est peut-être qu'apparente; qu'est-ce qui prouve que la respiration artificielle ne ramènerait pas le supplicié à la vie? Oserait-on la pratiquer? Les médecins américains ont raison de faire immédiatement l'autopsie, c'est plus prudent. Avec l'électrocution, qu'est-ce qui empêche, d'autre part, de simuler une exécution? Les philanthropes de l'État de New-York ont trouvé notre guillotine barbare; elle a au moins l'avantage de supprimer brusquemnt le moi en touchant le nœud vital, et, jusqu'à présent, comme le disait Loye, « le public n'a pas idée que nous puissions simuler une exécution en rappelant, après coup, le supplicié à la vie ».

Que deviennent les effets physiologiques de l'état variable en augmentant de plus en plus la rapidité des variation? Cette question se présentait tout naturellement à moi en poursuivant les expériences systématiques dont je viens de vous rendre compte sur les effets physiologiques de l'état variable. J'essayai de résoudre le problème en actionnant des bobines d'induction au moyen d'interrupteurs mécaniques variés; mais, lorsque les interruptions devenaient trop rapides, je n'avais plus de courant, comme l'avaient constaté avant moi tous les physiologistes. Je fis construire alors un petit alternateur sur le modèle breveté par Gramme en 1871 et retrouvé après lui par Mordey. J'employai également une roue phonique de Sieur, et je pus arriver ainsi à avoir 10.000 excitations par

seconde. Enfin, en 1890, je songeai à employer le résonateur de Hertz, capable de fournir des fréquences que je n'avais jamais osé rêver. Je vis alors que les nerfs et les muscles étaient complètement inexcitables par les étincelles provenant de cet appareil. M. Joubert me dit de son côté avoir été très étonné de n'avoir pu se servir de la grenouille comme galvanoscope. En analysant ce phénomène, je remarquai que les nerfs traversés par ces courants éprouvaient une diminution très notable de leur excitabilité aux courants ordinaires et ne la recouvraient qu'au bout d'un temps assez long. J'exposai ces résultats dans mon cours du Collège de France en décembre 1890. J'en parlai à la Société de biologie dans des communications orales et dans des communications écrites les 25 avril et 2 mai 1891, en émettant des hypothèses pour expliquer ces faits inattendus. Puis vint l'importante communication de M. Tesla, faite à New-York le 23 mai 1891. Cet habile expérimentateur arrivait incidemment pour les effets physiologiques à des conclusions identiques aux miennes, mais en mettant en œuvre des moyens incomparablement plus puissants. Je demande la permission de mettre sous les yeux, à titre de document historique, un extrait de ma communication du 25 avril 1891 à la Société de biologie.

« Dans une communication verbale du 24 février 1891, j'ai signalé à la Société l'action physiologique spéciale des courants alternatifs de forme sinusoïdale à période très lente. J'ai montré que des courants de cette nature, incapables de provoquer aucune contraction musculaire ni aucun phénomène douloureux, agissent néanmoins puissamment sur les combustions respiratoires. Leur passage chez l'homme sain s'accompagne

d'une augmentation de la quantité d'oxygène absorbé et d'une émission plus grande d'acide carbonique.

« J'ai poursuivi l'étude de ces courants en augmentant de plus en plus leur fréquence et en étudiant cette fois l'influence de la fréquence sur la sensibilité générale et sur l'excitabilité neuro-musculaire. J'ai employé pour cela des machines industrielles à courants alternatifs Gramme et Siemens, et aussi un modèle spécial d'alternateur pouvant donner jusqu'à 10.000 alternances ou excitations par seconde. Par un dispositif que je ne peux indiquer ici, je me suis arrangé de façon que le travail absorbé, sous forme d'énergie électrique, par l'organisme ou le tissu en expérience, restât constant dans tous les cas, malgré l'augmentation du nombre des alternances. Il suffit pour cela que la formule représentant le travail d'un courant alternatif dans le circuit extérieur satisfasse à l'égalité

$$E_e I_e \cos 2\pi\varphi = \text{const.};$$

E_e étant la force électromotrice efficace, I_e l'intensité efficace du courant et φ ce qu'on appelle la *phase*.

« Pour graduer convenablement le courant qui sert à exciter le nerf ou le muscle, j'envoie le courant provenant de la machine dans le circuit primaire d'un appareil à chariot *sans fer*, et c'est à l'aide du courant prenant naissance dans la bobine mobile que j'excite le tissu. Le chariot de du Bois-Reymond joue le rôle de transformateur à rendement variable.

« J'ai constaté, dans ces conditions, qu'en augmentant graduellement la fréquence, les phénomènes d'excitation neuro-musculaire vont en augmentant jusqu'à 2.500 ou 3.000 excitations par seconde, qu'ils restent

stationnaires entre 3.000 et 5.000, et vont ensuite en décroissant jusqu'à 10.000, de sorte qu'un courant ayant 3.000 alternances est plus douloureux qu'un courant de 10.000, et beaucoup moins qu'un courant de 150 seulement et même de 40 avec la machine Gramme. Ces expériences me portent à croire que les machines à courants alternatifs, *de puissance égale*, seront d'autant moins dangereuses que la fréquence des courants qu'elles engendrent sera elle-même plus grande, contrairement à ce qu'on aurait pu supposer. Quelle application donner à ce fait expérimental? Je n'en vois que deux possibles : une, physique, bien démontrée, l'autre physiologique et hypothétique. Il est bien démontré aujourd'hui que, dans le cas des courants alternatifs, la loi d'Ohm $I = \frac{E}{R}$ n'est plus applicable; la distribution du courant alternatif dans le conducteur est tout autre que dans le cas du courant constant.

« Le courant alternatif se porte surtout à la surface du conducteur comme l'électricité statique. Sa pénétration dans le conducteur est d'autant moindre que la fréquence est plus grande. Dans le cas des courants alternatifs, la conductibilité d'un conducteur cylindrique croît seulement comme sa surface. Lorsque la fréquence est suffisante par conséquent, le courant passant par le corps d'un animal ne pénétrera pas et s'écoulera tout entier par la surface; c'est là sans doute qu'il faut chercher l'explication de la diminution du danger à mesure qu'augmente la fréquence. On peut supposer, en second lieu, que les tissus ne sont plus excitables par des chocs suffisamment rapides; dans le cas actuel, on ne peut admettre cette

explication, puisque j'ai démontré autrefois (*) qu'un muscle peut reproduire la parole et répondre, par conséquent, à plus de 10.000 excitations par seconde.

« Pour savoir si le nerf et le muscle peuvent répondre à des excitations électriques extrêmement rapides, j'ai abandonné tous les interrupteurs électriques mécaniques qui peuvent donner très difficilement 30000 excitations par seconde, je me suis servi d'un dispositif qui peut donner jusqu'à mille millions de vibrations électriques par seconde. C'est l'appareil bien connu des physiciens, depuis les admirables recherches du Dr Hertz sur les oscillations électriques. J'ai donc installé un vibrateur de Hertz dont la période calculée par la formule de Thomson, $T = 2\pi\sqrt{LC}$, est de 20 à 25 billioniémes de seconde. Un *résonateur* de Hertz, modifié par M. Joubert, installé à 50 centimètres environ du vibrateur, donne des étincelles de 5 à 6 millimètres de longueur au maximum. Eh bien, à l'aide d'étincelles de cette force, il m'a été impossible d'exciter une patte galvanoscopique des plus sensibles dans les conditions où j'ai opéré. M. Joubert m'a dit qu'il n'avait pas été plus heureux que moi lorsqu'il a répété les expériences de Hertz au Laboratoire central d'électricité. Constamment la grenouille a refusé de se contracter, bien que le résonateur de M. Joubert donnât des étincelles de plus de 1 centimètre.

« D'ailleurs, si l'on reçoit des étincelles sur un doigt, sur le bout du nez, sur la pointe de la langue, etc., on n'éprouve absolument aucune sensation de piqûre, alors que le choc serait, au contraire, très douloureux, si l'on recevait une étincelle de pareille

(*) Voir *Comptes rendus de la Société de biologie*, année 1885, p. 454.

longueur provenant d'un appareil de Ruhmkorff. Les nerfs sensitifs et les nerfs moteurs sont donc insensibles à des excitations ou à des ondulations électriques qui atteignent 20 à 30 millions par seconde. Nous n'avons pas de nerfs, ou plutôt de terminaisons nerveuses sensitives correspondant à cette période vibratoire. En revanche, nous en avons d'autres qui sont accordées pour des mouvements vibratoires beaucoup plus rapides, allant de 100 à 400 billions de vibrations par seconde (ondulations calorifiques), ce sont les terminaisons nerveuses transmettant les impressions de chaleur et de froid. D'autres terminaisons nerveuses (rétine) sont sensibles à des ondulations encore plus rapides, comprises entre 497 billions (rouge) et 728 billions par seconde (violet). Au delà de 728 billions par seconde, nous ne connaissons ces mouvements ondulations de l'éther que d'une manière indirecte (fluorescence, photographie, etc.). On pourrait, d'après cela, diviser les terminaisons nerveuses en deux catégories spéciales. Les unes seraient sensibles à certaines ondulations de l'éther, c'est-à-dire aux vibrations transversales, d'une période déterminée; les autres (terminaisons acoustiques, corpuscules du tact, etc.) ne seraient, au contraire, influencées que par les vibrations de la matière pondérable (vibrations de l'air, des corps solides, etc.) d'une période infiniment plus longue. »

Telles étaient les constatations que j'avais faites lorsque les expériences retentissantes de M. Tesla amenèrent l'attention du grand public sur cette question. Il était intéressant de démontrer que pour les très hauts voltages et les grandes énergies la loi générale que j'avais formulée s'appliquait encore. J'ai

pu le faire grâce surtout aux indications que M. le professeur Elihu Thomson a données récemment avec une libéralité digne de sa réputation. L'appareil que j'ai employé se compose en principe d'une bouteille de Leyde qui se décharge périodiquement dans un premier circuit composé de quinze spires de fils de cuivre de 4 millimètres de diamètre. Ce solénoïde est placé dans l'intérieur d'un tube d'ébonite de 6 centimètres de diamètre intérieur sur 15 centimètres de longueur. Sur sa paroi extérieure est roulé en une seule couche un fil de cuivre couvert de deux couches de coton, dont le diamètre est de 1/2 millimètre et qui fait 150 tours environ. Le tout est plongé dans une huile minérale (valvoline de commerce). La bouteille de Leyde est chargée périodiquement en plaçant ses deux armatures en dérivation sur le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff actionnée par cinq accumulateurs. Elle donne des étincelles de 10 centimètres dans ces conditions.

La capacité de la bouteille de Leyde employée est au maximum d'environ 1/300 de microfarad. Dans ces conditions on obtient aux bornes du transformateur secondaire, noyé dans l'huile, des étincelles de 5 à 7 centimètres de longueur. Les oscillations électriques, dans ce circuit, sont au nombre de 6 à 700000 par seconde environ. En employant la bobine de Ruhmkorff comme source électrique, il est inutile de souffler sur l'étincelle; il en est de même avec les machines de Holtz et Wimshurst. Ce dispositif simple permet de reproduire toutes les expériences de M. Tesla : aigrettes violettes, illuminant tout le parcours des fils, phosphorescence unipolaire des lampes à incandescence ordinaires ou des rubis dans le tube de Crookes, illumi-

nation des tubes vides dans le champ électrique, etc. Quant à l'action de ce courant sur la sensibilité, elle est nulle, bien que l'énergie électrique développée soit d'environ 50 watts dans le circuit extérieur. Une lampe à incandescence de 125 volts et de 1/2 ampère, s'allume soit à travers le corps de l'expérimentateur, soit en la mettant entre deux personnes touchant d'autre part les bornes de la bobine. La sensation produite par ces décharges d'une énergie considérable est nulle. J'ai obtenu les mêmes résultats au laboratoire en employant pour actionner la bobine Ruhmkorff un alternateur Gramme ou Siemens (*). J'ai pu allumer dans ces conditions jusqu'à sept lampes semblables à celle que je vous présente à travers mon corps, sans ressentir aucun effet désagréable. Un semblable courant venant directement de l'alternateur suspendrait instantanément la respiration et provoquerait de violentes contractions dans tous les muscles. En employant l'alternateur, il faut souffler l'étincelle, comme le recommande M. Elihu Thomson. J'ai employé avec avantage pour cela un courant d'acide carbonique provenant d'une bouteille en fer forgé où ce gaz est à l'état liquide. Je préfère néanmoins faire éclater l'étincelle de la bouteille entre les pôles d'un électro-aimant Faraday, actionné par trois ou quatre accumulateurs. Ce procédé a été employé, je crois, par M. Tesla, bien qu'il n'en ait point parlé dans la communication qu'il a faite à la Société de physique.

L'aspect de l'étincelle change complètement lorsqu'elle est soufflée par le champ magnétique. Tant que

(*) Cet appareil a fonctionné devant la Société de physique, à la séance de Pâques, où l'auteur fit la communication qui est reproduite ici avec quelques additions.

le faraday est inactif, on obtient un arc continu peu bruyant; mais, aussitôt qu'on anime l'électro, l'arc se résout en une multitude de fins traits lumineux qui tournent autour des pôles en produisant une crépitation des plus énergiques. La longueur et l'abondance des étincelles aux bornes de la bobine noyée dans l'huile augmentent aussitôt.

J'ai dit que la sensation immédiate produite par ces courants était nulle. Leur passage s'accompagne pourtant d'effets physiologiques très intéressants que je signale brièvement : 1° Si l'on ferme pendant un certain temps le courant à travers les mains, munies de larges conducteurs métalliques, on trouve que la peau est devenue insensible. Cette insensibilité persiste de quelques minutes à une demi-heure; 2° Dans ces conditions, et aussi en s'isolant sur un tabouret en verre et ne prenant qu'un seul pôle, on ressent une sensation de chaleur qui s'accompagne bientôt de production abondante de sueur et d'une vascularisation considérable de la surface cutanée; 3° Enfin, si l'on fait une petite plaie à la patte d'un animal, de façon que le sang s'en échappe seulement goutte à goutte, on voit l'hémorragie devenir très abondante sous l'influence du courant. Il y a alors une action vaso-dilatatrice énergique.

Je poursuis en ce moment la série des phénomènes physiologiques produits par ces courants. Je les crois appelés à rendre de très grands services à la thérapeutique, et j'espère pouvoir, d'ici peu, présenter l'analyse complète de ces effets curieux.

Dr A. D'ARSONVAL.

NOTE RELATIVE A LA GUTTA-PERCHA

Dans le numéro de janvier-février 1891 des *Annales télégraphiques*, j'ai publié les résultats de recherches faites sur la gutta-percha, afin de voir l'influence des divers éléments qui la composent, par rapport à ses propiétés électriques, et aussi à ses autres qualités. J'ai eu soin, d'ailleurs, d'avertir que cette étude était loin d'être complète et que lorsque j'aurais occasion de constater de nouveaux faits, j'en donnerais connaissance ; c'est ce que je fais aujourd'hui. La conclusion principale de mon premier travail était que la gutta-percha ordinaire contenait, outre la gutta pure, deux résines ; l'albane et la fluavile, dont l'isolement électrique est plus élevé que celui de la gutta pure, et par suite plus la proportion de ces résines est grande dans la gutta-percha ordinaire, plus celle-ci isole (*). Mais il ne m'avait pas été possible de voir si les pouvoirs isolants de la fluavile et de l'albane sont différents. Des gutta-percha ayant des compositions convenables pour effectuer cette recherche m'ont permis de résoudre cette question.

A priori, j'ai toujours pensé que ces résines, qui ne

(*) Une autre conclusion de mon premier article était l'influence exercée par l'eau que contient la gutta-percha, laquelle a pour effet de diminuer les propriétés isolantes de la gutta. Cet effet avait été constaté pratiquement par M. Hughes, il y a longtemps, ainsi qu'on peut le voir dans le numéro de mai-juin 1892 des *Annales*, page 229.

sont que de la gutta pure oxydée, et doivent, par conséquent, leur excès d'isolement sur celui de la gutta pure à l'oxygène qu'elles contiennent, isolent d'autant plus que la proportion d'oxygène est plus considérable; par suite, les propriétés isolantes de l'albane doivent être plus grandes que celles de la fluavile. Cette prévision vient d'être confirmée par l'expérience suivante :

Deux longueurs d'âme d'un câble sous-marin, semblables dans leur composition, fabriquées dans la même usine, expérimentées au point de vue électrique après le même temps de fabrication, avaient à 24° les isolements kilométriques ci-après :

Ame n° 1.	3039Ω
n° 2.	2310Ω

L'analyse de ces deux espèces de gutta-percha a donné les nombres ci-dessous :

Ame n° 1 . . .	Eau	1,30 p. 100
	Impuretés. . . .	1,00
	Résines	38,60
	Gutta pure . . .	59,10
		100,00
Ame n° 2 . . .	Eau	1,40 p. 100
	Impuretés. . . .	0,70
	Résines	38,00
	Gutta pure . . .	59,90
		100,00

Les compositions de ces âmes diffèrent si peu l'une de l'autre qu'on peut les considérer comme pareilles par rapport à ces quatre éléments. Il y avait alors lieu de penser que le rapport de la quantité d'albane à

la quantité de fluavile n'était pas le même dans les deux espèces de gutta-percha. Les résines provenant de ces deux diélectriques étant dissoutes dans l'alcool absolu et en ébullition, on a pu, en évaporant une partie de l'alcool, puis faisant refroidir, séparer à peu près complètement ces deux résines l'une de l'autre. On a trouvé ainsi que ces âmes contenaient :

Ame n° 1 . . .	Albane.	27,00 p. 100
	Fluavile	11,60
		38,60
Ame n° 2 . . .	Albane.	18,00 p. 100
	Fluavile	20,00
		38,00

Les proportions de l'albane à la fluavile sont assez différentes l'une de l'autre pour qu'il n'y ait pas à hésiter à admettre que c'est à ce que la gutta-percha de la première âme contient plus d'albane que celle de la seconde, qu'elle doit d'avoir un isolement supérieur à celui de cette dernière.

Ce résultat modifie certaines conclusions de mon premier article et montre la nécessité qu'il y a, lorsqu'on veut se rendre compte de la qualité d'une gutta-percha, de déterminer, non seulement la quantité totale des résines qu'elle contient, mais aussi la proportion de l'albane à la fluavile, la première, par sa cristallisation rapide qui désagrège la gutta, étant beaucoup plus nuisible que la seconde, et c'est surtout d'elle qu'il faut se préoccuper. Il m'est arrivé, en effet, dans l'étude des gutta-percha, de trouver toujours que celles de mauvaise qualité contenaient de grandes quantités d'albane qui se déposaient, sous forme de cristaux

blancs, dans l'alcool servant à les épuiser; celles de bonne qualité en contenaient très peu, et souvent on n'observait pas de formation de cristaux.

Aussi, je considère la recherche de cette espèce de résine dans la gutta-percha comme un moyen de se rendre compte de la valeur de cette gutta.

L'albane qui se trouve dans la gutta-percha travaillée peut provenir de la gutta brute qui en contenait déjà, ou bien s'être produite dans le travail de préparation, une trop grande chaleur favorisant l'oxydation de la gutta pure ; elle peut être aussi le résultat du traitement subi par des gutta-percha ayant déjà été travaillées à plusieurs reprises.

LAGARDE.

NOTE

SUR DES

MESURES DE CAPACITÉ ET DE SELF-INDUCTION

EFFECTUÉES SUR DES LIGNES SOUTERRAINES

Les numéros des *Annales* de novembre-décembre 1890, et juillet-août 1891, contenaient des indications sur les résultats donnés par des mesures de capacité et de self-induction effectuées sur des lignes aériennes.

Ce genre de recherches a été poursuivi sur les lignes souterraines.

Les expériences ont porté d'abord sur la ligne de Paris à Rouen, 156 kilomètres, puis sur celle de Paris à Beauvais, $70^{km},6$.

Sur ces deux lignes, la capacité d'un fil, par rapport à la terre, a été trouvée être exactement le double de celle de l'ensemble de deux fils contigus, l'un par rapport à l'autre, mais la self-induction du circuit bouclé n'a pu être mesurée en raison des causes perturbatrices dues aux phénomènes de charge qui se mêlent aux phénomènes de self-induction, mettant en mouvement des quantités d'électricité croissant comme le cube de la longueur de la ligne, tandis que ceux-ci sont proportionnels à la première puissance de cette longueur.

Il convenait donc de rechercher une ligne présentant des sections de faible longueur. Les lignes de Montbéliard-le-Montbard, $6^{km},500$, et Montbéliard-les-Roches, $23^{km},600$, ont semblé devoir réaliser ce desideratum.

Ces lignes sont construites avec des câbles armés à deux conducteurs constitués chacun par un toron de

sept brins de fil de 6/10 de millimètre; la distance des deux âmes est de 5 millimètres de centre à centre.

Les expériences ont été faites, pendant la nuit, depuis le bureau de Montbéliard auquel aboutissent, en dehors de la ligne expérimentée, un certain nombre de fils aériens et une ligne souterraine venant de Belfort.

Avant d'entreprendre les mesures, on isolait les conducteurs aériens arrivant au bureau, ainsi que les brins souterrains venant de Belfort. Ceux-ci, qui se trouvaient à l'entrée du poste dans la même conduite que les câbles à expérimenter, étaient en outre coupés, à 600 mètres de là, dans une chambre de coupure. On était donc ainsi complètement isolé du réseau télégraphique.

Les méthodes employées étaient celles qui ont été indiquées dans les numéros précités des *Annales*.

Entre Montbéliard et le Montbard (6.500 mètres), les chiffres trouvés sont les suivants :

	CONDUCTEUR n° 1	CONDUCTEUR n° 2	CONDUCTEUR n° 1...2
Isolement kilométrique....	1.050$^{\Omega}$	650$^{\Omega}$	»
Résistance id.	8$^{\omega}$,4	8$^{\omega}$,4	»
Capacité id.	0$^{\varphi}$,24	0$^{\varphi}$,24	0$^{\varphi}$,12

L'isolement, on le voit, est très satisfaisant sur cette ligne construite depuis une dizaine d'années; les mesures ont d'ailleurs été faites au mois d'août dernier, par les grosses chaleurs.

La capacité réciproque des deux fils est moitié moindre que celle de chaque fil par rapport à la terre : 0$^{\varphi}$,79 et 1$^{\varphi}$,58 pour la totalité de la ligne.

La mesure de la self-induction des deux fils, bouclés à leur extrémité, a présenté la particularité suivante :

Une fois l'équilibre obtenu au pont de Wheatstone pour le courant permanent, l'aiguille du galvanomètre soit à l'ouverture, soit à la fermeture du circuit, n'a plus accusé aucune déviation; il ne se manifestait donc ni phénomène de charge, ni phénomène de self-induction, ou tout au moins leurs effets se détruisaient mutuellement.

Dans ces conditions, la formule

$$L-\left(C_1 R_1^2+\frac{1}{3} C R^2\right)=0,$$

rappelée dans une première note (*), et dans laquelle L représente le coefficient de self-induction de la ligne bouclée, C et R la capacité et la résistance, C_1 et R_1 les valeurs d'un condensateur variable, shunté par une résistance fixe, se réduit, C_1 étant nul, à $L-\frac{1}{3} C R^2=0$, d'où l'on tire $L=0^q{,}003186$, soit $l=0^q{,}00049$ au kilomètre.

Si l'on compare ce nombre à celui que donne le calcul de la formule :

$$l=2 \mu \mathcal{L} \frac{d^2}{a^2}+\frac{1}{2}\left(\mu_1+\mu_2\right) \ (^{*}),$$

dans laquelle a représente le diamètre des fils de cuivre : $1^{mm},83$, d la distance de ces fils, 5 millimètres, μ, μ_1 et μ_2 la perméabilité du cuivre et des substances isolantes, on trouve qu'il y a concordance parfaite : $0^q{,}00050$ au lieu de $0^q{,}00049$.

Le coefficient d'induction d'un des fils sur l'autre a a été trouvé de $0^q{,}062$, soit, pour cette longueur de ligne, de $0^q{,}0095$ au kilomètre. Ce nombre est la moyenne de trois séries obtenues en faisant varier les conditions de

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVII, 1890, p. 505.
(**) *Traité d'électricité et de magnétisme*, par M. Vaschy, p. 365.

l'expérience, et qui concordaient d'ailleurs entre elles à $\frac{8}{100}$ près, approximation très satisfaisante en raison de la précision relative de la mesure.

Sur la ligne de Montbéliard aux Roches, les nombres sont les suivants :

	CONDUCTEUR n° 1	CONDUCTEUR n° 2	CONDUCTEUR n° 1...2
Isolement kilométrique....	830^{Ω}	730^{Ω}	»
Résistance id.	$8^{\omega},4$	$8^{\omega},4$	»
Capacité id.	$0^{\mu f},21$	$0^{\mu f},21$	$0^{\mu f},12$

La self induction de la boucle n'a pu être mesurée en raison des perturbations causées par les phénomènes de charge.

Les deux séries de mesures d'induction mutuelle effectuées différaient de plus de $\frac{1}{6}$; il n'y donc pas lieu de les retenir.

En somme, ces essais ne font que démontrer une fois de plus les difficultés que l'on éprouve dans les mesures de self-induction ou d'induction mutuelle sur les lignes, difficultés augmentées, en outre, sur les lignes souterraines par les phénomènes de charge qui jouent un rôle prépondérant. Toutefois, le hasard, grâce auquel j'ai précisément rencontré une section de ligne de longueur telle, que les phénomènes de charge et de self-induction se détruisaient mutuellement et que la cause perturbatrice principale disparaissait, m'a permis d'obtenir une vérification si nette de la formule théorique, que j'ai cru intéressant de signaler le fait.

E. MASSIN.

LA GUTTA-PERCHA

I. ORIGINE ET EXTRACTION.

La gutta-percha est une substance gommo-résineuse importée pour la première fois en Europe, en 1843, par José d'Almeida, qui rapporta de Malaisie le premier échantillon de ce produit. Le docteur William Montgomery fit, à cette époque, en Angleterre, les plus grands efforts pour l'utiliser industriellement.

Depuis, la gutta-percha a reçu de très nombreuses applications, dont la plus importante est, sans contredit, la fabrication des câbles électriques isolés, principalement celle des câbles télégraphiques sous-marins et souterrains.

La matière première, connue sous le nom de gutta-percha, est contenue dans le suc laiteux de la sève descendante de l'*Isonondra Percha*. Hooker, en 1847, donna les premières indications botaniques sur cet arbre, qui appartient au genre *Bassia Butyracea*, de la famille des *Sapotées*. Cet arbre, qui atteint une hauteur de 40 pieds, se trouve principalement dans les Indes Néerlandaises, dans la presqu'île de Malacca et dans les îles de l'archipel Malais. Il croît de préférence dans les terrains humides; le tronc est rond, les jeunes branches ont une teinte rougeâtre et sont très touffues, les feuilles sont contournées et se terminent en pointe.

Les vaisseaux qui contiennent le suc courent verticalement entre le bois et l'écorce, et on les reconnaît

facilement aux lignes foncées qui en marquent la direction à la surface de l'écorce.

A l'origine, les indigènes, pour en extraire plus rapidement et plus facilement le suc, abattaient les arbres et les écorçaient. On a pu craindre un moment que ce procédé d'exploitation, aussi barbare que primitif, n'amenât la destruction complète des *Isonondra-Percha*, car, en quelques années seulement, plus de 300.000 de ces arbres furent ainsi abattus.

Aujourd'hui on emploie le procédé d'extraction usité pour le caoutchouc : on fait des incisions à l'arbre et on recueille dans des vases le suc qui s'écoule.

Le liquide ainsi obtenu ne tarde pas à se séparer en deux parties : l'une aqueuse et l'autre pâteuse ; cette dernière constitue la substance connue sous le nom de gutta-percha. Dès qu'elle est suffisamment épaissie ou, plus exactement, coagulée, on la sépare du liquide en la pétrissant avec les mains et on en forme, avant durcissement complet, des pains ou des galettes.

Un autre procédé, aujourd'hui abandonné, consistait à chauffer doucement le suc recueilli, de manière à évaporer en partie le liquide dont l'excédant était ensuite chassé par pétrissage. Au bout de quelques jours, la masse ainsi obtenue était complètement solidifiée.

La gutta-percha brute se présente en masses solides et résistantes, différemment colorées depuis le blanc grisâtre jusqu'au brun foncé, sous forme de pains ayant environ 30 centimètres de long et 10 à 12 centimètres d'épaisseur.

La coloration de certaines gutta-percha brutes vient vraisemblablement de ce que toute la partie liquide n'a pas été complètement éliminée dans la première pré-

paration qu'a subie le produit, car la gutta-percha pure est blanche.

On trouve dans les pains de matière brute des débris de bois et d'écorce, du sable, de la terre, etc., quelquefois même des pierres, des morceaux de plomb. On devine aisément la cause de la présence de ces impuretés. Les débris divers, terre, sable, etc., sont évidemment dus au peu de soin avec lequel a été faite la récolte du suc; quant aux pierres et au plomb, c'est simplement une fraude.

II. GUTTA-PERCHA COMMERCIALE.

Les gutta-percha brutes se présentent sous des aspects différents et leurs qualités sont très variables. Les sortes les plus estimées viennent de Bornéo et de Singapore, où se trouve le marché principal de cette matière première.

Beaucoup de gutta-percha commerciales ne contiennent pas seulement le suc de l'*Isonandra-Percha*, car les indigènes le mélangent avec des sucs d'autres arbres analogues.

Dans tous les cas, les gutta-percha brutes doivent, pour pouvoir être utilisées industriellement, subir un nettoyage préalable afin de les débarrasser des débris d'écorce, de la terre, etc., qu'elles contiennent toujours.

Cette opération s'effectue de plusieurs manières. La plus simple consiste à diviser les pains en copeaux très petits à l'aide de machines spéciales, et à faire ensuite passer la substance ainsi divisée dans des bacs où elle est fortement lavée dans un courant d'eau

froide. Les matières étrangères, plus denses que la gutta-percha, tombent au fond. Cette opération est ensuite renouvelée avec de l'eau chaude.

Le nettoyage terminé, la gutta-percha est introduite dans des malaxeurs spéciaux, chauffés à la vapeur, où elle s'agglomère et perd la majeure partie de l'eau dont elle s'est imprégnée pendant le lavage.

On obtient ainsi une masse homogène, qui est la gutta-percha épurée.

Elle est de couleur brune plus ou moins foncée, elle s'électrise très facilement par le frottement, conduit mal la chaleur et possède, au point de vue électrique, un pouvoir isolant remarquable.

La manière dont elle se comporte à différentes températures doit être tout spécialement signalée. Entre 0 degré et 25 degrés, elle est très tenace, extensible, un peu souple, et présente une consistance comparable à celle du gros cuir. Sa flexibilité augmente entre 25 degrés et 30 degrés et, si on élève la température jusqu'à 50 degrés, on peut la laminer avec la plus grande facilité. De 55 degrés à 60 degrés, elle acquiert une plasticité telle qu'aucune autre substance ne se prête aussi bien à l'exécution des moulages les plus délicats. Aux températures comprises entre 100 degrés et 110 degrés, elle subit une sorte de fusion pâteuse et devient poisseuse. Dans l'eau bouillante, elle perd sa forme et prend 5 à 6 p. 100 d'eau, qu'elle abandonne ensuite très lentement.

Elle bout à 120° et se décompose au-dessus de 130° en laissant passer à la distillation des huiles incolores formées en majeure partie d'isoprène et de caoutchine; il reste dans le vase un léger résidu de charbon.

Elle possède la propriété de se souder très facile-

ment à elle-même. Pour cela, il suffit de chauffer légèrement, pour les ramollir, les parties qu'on veut réunir et de les juxtaposer en les comprimant. Pendant cette opération, il faut éviter de trop chauffer, car, si on atteignait le point de fusion, la gutta-percha resterait poisseuse après le refroidissement.

A aucune température la gutta-percha ne possède l'élasticité qui caractérise le caoutchouc et, contrairement à ce dernier, ne perd rien de sa souplesse à 10° au-dessus de zéro.

Tandis que le caoutchouc paraît n'avoir aucune structure, la gutta-percha a une texture celluleuse, qui devient fibreuse lorsqu'on la soumet à une forte traction. Lorsqu'on a doublé sa longueur par l'étirage, elle supporte sans se rompre l'action d'une force double de celle qu'a nécessité cette opération. La résistance à la rupture est considérable lorsque l'effort s'exerce dans le sens des fibres, mais elle se déchire aisément lorsque la traction s'exerce dans le sens transversal.

La gutta-percha possède une porosité particulière qui fait que sa densité est en apparence plus faible que celle de l'eau. Ce phénomène tient à ce que ses pores sont remplis de minuscules bulles d'air qui la font surnager et, ce qui le prouve, c'est que des feuilles de gutta-percha immergées dans l'eau pendant un certain temps et ayant ainsi perdu l'air qu'elles renfermaient dans leurs pores, tombent au fond ; il en est de même pour celles qui ont subi préalablement une forte pression.

Insoluble dans l'eau à toutes les températures, elle supporte très bien l'action de la vapeur.

Ses meilleurs dissolvants sont le sulfure de carbone et le chloroforme qui la dissolvent à froid sans la

gonfler comme le caoutchouc, la dissolution se faisant peu à peu de la surface à l'intérieur.

La gutta-percha est soluble en partie dans l'éther et l'alcool anhydres.

La benzine la dissout partiellement à 25° et sa solubilité augmente à mesure que la température s'élève.

A chaud, l'essence de térébenthine la désagrège et la dissout facilement.

La gutta-percha se dépose en grumeaux par le refroidissement de toutes les solutions faites à chaud. Elle est précipitée de ses dissolutions par l'alcool, mais la gutta-percha ainsi obtenue retient fréquemment entre ses pores des traces du dissolvant employé, ce qui la rend poisseuse.

L'acide sulfurique monohydraté attaque à froid la gutta-percha et la désagrège lentement en la colorant en brun avec dégagement d'acide sulfureux. A chaud, la gutta-percha noircit, se décompose, et il reste un résidu de charbon.

L'acide azotique fumant exerce une action très énergique et donne lieu à une vive effervescence et à un dégagement de vapeurs de peroxyde d'azote. D'après Oudemans, on trouve dans les produits de la réaction de l'acide formique et de l'acide cyanhydrique.

L'acide chlorydrique concentré attaque lentement la gutta-percha lorsqu'elle est en feuilles minces, la colore en brun foncé et la rend friable.

L'acide fluorhydrique est sans action ; c'est ce qui a fait employer la gutta-percha à la confection des vases destinés à le contenir.

Enfin elle résiste aux divers agents de fermentation ainsi qu'aux dissolutions alcalines et salines, même concentrées.

La facilité avec laquelle la gutta-percha se dissout dans le sulfure de carbone et dans le chloroforme a permis de préparer facilement la gutta-percha pure.

Pour l'obtenir, il suffit de dissoudre la gutta-percha du commerce dans un de ces deux dissolvants ; la solution trouble et brune est ensuite filtrée sous une cloche lutée afin de prévenir l'évaporation. La dissolution qui a passé à travers le filtre est limpide et presque incolore, les matières étrangères, colorées en brun rougeâtre, restant sur le filtre. Le liquide filtré est ensuite évaporé à l'air sur des lames de verre ou dans des cuvettes plates en porcelaine. Après dessiccation, la gutta-percha blanche forme une plaque plus ou moins épaisse, ayant à peu près l'aspect de la cire vierge ; on la détache très facilement en la couvrant d'eau froide.

Ainsi obtenue, la gutta-percha pure est blanche ou légèrement grisâtre, opaque en plaques épaisses et demi-translucide lorsqu'elle est en feuilles minces.

La gutta-percha s'altère à la lumière ainsi qu'au contact de l'air, surtout sous l'influence d'une température de 25° à 30° et principalement lorsqu'elle est en feuilles ou en plaques minces. Cette propriété fâcheuse limite beaucoup ses emplois.

Sous l'influence de l'air et de la lumière elle se modifie assez rapidement de la surface au centre ; elle durcit peu à peu, se fendille en tous sens et devient dure, cassante et jaunâtre en augmentant de poids. Elle est alors beaucoup plus soluble dans l'alcool.

Cette altération est due à une oxydation qui ne se produit pas lorsqu'elle est immergée dans l'eau et qu'on la conserve à l'abri de la lumière.

Les alternances d'humidité et de sécheresse activent cette oxydation qui ôte peu à peu à la gutta-percha sa

flexibilité, sa ténacité et son extensibilité et qui la rend presque totalement soluble dans l'alcool absolu ; dans ces conditions, son pouvoir isolant augmente.

Les premières recherches chimiques faites sur la gutta-percha sont dues à Payen qui, dans un mémoire présenté à l'Académie des Sciences en 1851, a fait connaître sa composition immédiate et a désigné sous le nom de *gutta*, d'*albane* et de *fluavile* les trois principes immédiats dont elle est formée.

III. ÉTUDE DES PRINCIPES IMMÉDIATS DE LA GUTTA-PERCHA.

Gutta. — La gutta réunit les propriétés utiles de la gutta-percha et est, dans les bonnes qualités, le plus abondant des trois principes immédiats. Elle entre pour une proportion de 40 à 85 p. 100 dans la composition du produit naturel purifié.

On peut la préparer en dissolvant la gutta-percha purifiée dans le chloroforme et versant ensuite cette dissolution dans de l'alcool absolu qui précipite la gutta sous forme de flocons blancs.

D'après Oudemans (1858-1859) et E.-H. von Baumhauer (1859), sa composition centésimale serait la suivante, correspondant à la formule $C^{20}H^{32}$.

Carbone	88,44
Hydrogène	11,76
	100,00

La gutta possède la plupart des caractères de la gutta-percha épurée.

A la température de 10° à 20°, elle est blanche, douce au toucher, flexible et extensible, mais pas

élastique. A 45° elle devient pâteuse et prend une coloration jaunâtre. En élevant encore la température, elle devient poisseuse et plus translucide. Entre 100° et 110°, elle éprouve la fusion pâteuse; elle devient liquide et bout à 130° en donnant comme produits à la distillation une huile et un carbure gazeux.

Complètement soluble dans le chloroforme et le sulfure de carbone, elle est insoluble dans l'alcool et l'éther anhydres; d'après Arpper, elle ne serait insoluble dans l'éther qu'après avoir été traitée préalablement par l'alcool.

Lorsque la gutta est très divisée, elle absorbe très rapidement l'oxygène de l'air. Même en masse, elle est très altérable et ne se conserve que très difficilement.

A chaud l'acide azotique la décompose et il se produit de l'acide formique et de l'acide cyanhydrique. L'acide chlorhydrique la transforme en une masse brun noirâtre.

Fluavile. — La fluavile est une résine solide, amorphe, jaune, diaphane, dure et cassante.

Elle devient pâteuse vers 50° et est complètement fluide entre 100° et 110°. Au-dessus de 120°, elle se décompose en donnant des carbures d'hydrogène et des vapeurs acides.

Sa densité est supérieure à celle de l'eau.

Insoluble dans l'eau, elle se dissout à froid dans l'alcool et l'éther anhydres, la benzine, l'essence de térébenthine, le sulfure de carbone et le chloroforme.

Pour la préparer, on épuise la gutta-percha par l'alcool absolu froid ; cette dissolution évaporée abandonne la fluavile. Il est très difficile de la séparer complètement de son dissolvant et on n'y arrive qu'en la chauffant à 100° dans le vide.

Les alcalis concentrés et les acides étendus sont sans action, ainsi que l'acide chlorhydrique concentré.

Elle est attaquée aussi énergiquement que la gutta-percha par l'acide azotique fumant et l'acide sulfurique monohydraté.

Sa composition centésimale est la suivante :

Carbone	83,33
Hydrogène	11,11
Oxygène	5,56
	108,00

correspondant à la formule $C^{20} H^{32} O$.

Albane. — L'albane est une résine blanche que l'on obtient cristallisée lorsqu'on laisse refroidir lentement sa dissolution dans l'alcool absolu bouillant. Ces cristaux sont lamelleux, diaphanes et forment des groupes mamelonnés iradiés d'un centre commun.

Sa densité est plus grande que celle de l'eau. Elle fond à 160°. Entre 175° et 180°, elle acquiert sans se décomposer une fluidité comparable à celle de l'huile. Elle se solidifie par le refroidissement en éprouvant un retrait qui la fendille et reste transparente, tandis que les cristaux paraissent généralement opaques (*).

L'albane est soluble dans le sulfure de carbone, le chloroforme, l'éther, la benzine et l'essence de térébenthine. L'alcool absolu n'en dissout à froid que 5,1 p. 100; à l'ébullition il en dissout 54 p. 100.

En présence des acides et des alcalis, elle se comporte comme la fluavile.

(*) Lorsque l'albane est récemment préparée, les cristaux sont transparents, mais ils ne tardent pas à perdre cette transparence ce qui, croyons-nous, est dû à ce fait que les cristaux contiennent de l'alcool de cristallisation qui peu à peu s'évapore en partie.

Sa composition centésimale est :

Carbone	78,94
Hydrogène	10,53
Oxygène	10,53
	100,00

Sa formule est donc $C^{20} H^{32} O^2$.

Chauffée à 130°, elle perdrait une molécule d'eau et sa formule deviendrait $C^{20} H^{30} O$.

IV. MÉTHODE D'ANALYSE.

La méthode d'analyse que j'ai imaginée utilise les différences qui existent dans les propriétés des trois principes immédiats dont est formée la gutta-percha.

On sait que l'air et la lumière agissent sur la gutta-percha et lui font perdre plus ou moins rapidement les qualités qui la font rechercher pour les diverses applications qu'elle a reçues. Cette altération est le résultat d'une oxydation qui transforme la gutta en résines : fluavile et albane.

Il y a donc intérêt à doser, dans une gutta-percha commerciale, la quantité de gutta pure qu'elle contient, puisque c'est cette substance qui lui communique ses qualités et lui donne de la valeur. Moins une gutta-percha sera oxydée, autrement dit résinifiée, plus longue sera sa durée, et c'est un point essentiel à considérer dans certaines applications, la fabrication des câbles télégraphiques, par exemple.

En dehors de l'action de l'air et de la lumière, il est une autre cause d'oxydation qui intervient pour activer l'altération de la gutta-percha : c'est la quantité d'eau que renferment toujours, dans des proportions très

variables, le produit manufacturé, par suite des diverses opérations qu'il a dû subir.

Le dosage de l'eau est donc très important et a sa valeur dans l'appréciation que peut formuler le chimiste à la suite d'une analyse.

Enfin, il est essentiel de pouvoir se rendre compte de la manière dont le nettoyage du produit brut a été effectué et en même temps de s'assurer que des matières étrangères n'ont pas été ajoutées dans un but de fraude.

Pour effectuer une analyse complète, il faut donc rechercher :

1° La quantité d'eau;
2° — d'impuretés;
3° — de cendres;
4° — de gutta pure;
5° — de résines : albane et fluavile.

Dans une étude, publiée en 1891, dans les *Annales Télégraphiques* (*), M. Lagarde, Ingénieur des Postes et des Télégraphes, a fait connaître les résultats des recherches qu'il avait effectuées dans le but de déterminer l'influence que la composition des gutta-percha commerciales pouvait exercer sur leur propriété isolante, lorsque cette substance est employée comme diélectrique dans les câbles.

Les essais chimiques auxquels j'ai soumis les nombreux échantillons expérimentés, en vue de déterminer leur composition immédiate, ont toujours été accompagnés d'essais électriques sur les fils isolés qui avaient fourni l'échantillon examiné. De plus, pour rendre les essais comparables, des gutta-percha de

(*) *Annales télégraphiques*, t. XVIII, 1891, p. 3.

diverses qualités avaient été employées comme diélectrique d'âmes de câbles identiques et placés toujours dans les mêmes conditions d'expérience.

Ces essais chimiques et électriques, poursuivis pendant plusieurs années, ont toujours donné des résultats analogues, montrant d'une manière certaine que plus une gutta-percha est pure, moins son isolement est considérable, tout en ayant un pouvoir isolant convenable.

Comme le fait si justement remarquer M. Lagarde dans l'étude citée plus haut, il résulte de ce fait la conséquence pratique que, lorsque l'on achète des câbles isolés à la gutta-percha, il est prudent d'imposer un maximum en même temps qu'un minimum à la résistance d'isolement kilométrique de l'âme, limites qui doivent varier naturellement avec chaque modèle de câble.

L'influence de la quantité d'eau, qui existe toujours dans les gutta-percha manufacturées, a été également étudiée au point de vue des variations du pouvoir isolant qu'elle peut exercer. Il a été reconnu que l'eau avait pour effet, sur les âmes nouvellement fabriquées, de baisser d'abord leur isolement, mais que cette diminution n'était que temporaire, la gutta-percha s'oxydant, c'est-à-dire se résinifiant d'autant plus vite, quand elle est exposée à l'air, que la quantité d'eau est plus considérable.

Comme on le voit par ce qui précède, l'analyse chimique des gutta-percha peut donner des indications très utiles dans la fabrication des câbles. Aussi avons-nous pensé que l'exposé de la méthode d'essai que nous avons imaginée en 1886 et appliquée constamment depuis cette époque, pourrait intéresser les chi-

mistes et les électriciens; c'est ce qui nous a engagé à la publier.

1° *Dosage de l'eau.* — Le dosage de l'eau se fait en chauffant un poids connu de l'échantillon à examiner aux températures comprises entre 100 degrés et 110 degrés. La perte des poids donne la quantité d'eau.

C'est le procédé habituellement suivi dans les analyses chimiques; mais, dans le cas particulier qui nous occupe, il faut tenir compte de ce fait que la gutta-percha chauffée au contact de l'air s'oxyde assez rapidement, ce qui donne lieu à une augmentation de poids qui pourrait dépasser celui de l'eau évaporée.

On évite cet inconvénient en chauffant la gutta-percha dans un courant de gaz inerte : acide carbonique ou azote.

La *fig.* 1 représente l'appareil que j'ai disposé à cet effet.

Il se compose d'un ballon spécial à large ouverture servant d'étuve et muni d'une tubulure latérale. Il est fermé par un gros bouchon de liège percé de deux trous; l'un donne passage au thermomètre, l'autre au tube amenant l'acide carbonique. Un creuset de platine ou de porcelaine de Saxe, suspendu à l'intérieur du ballon, contient l'échantillon à dessécher. L'eau qui s'évapore, entraînée par le courant d'acide carbonique sec, sort par un tube fixé à la tubulure latérale du ballon et arrive dans des tubes en U, contenant de la ponce sulfurique, qui la retiennent. Un tube de Liebig à cinq boules, contenant de l'acide sulfurique pur, fait suite aux tubes en U et empêche la rentrée de l'air humide lorsque l'appareil n'est plus chauffé; il permet en outre de contrôler la vitesse du dégagement gazeux d'acide carbonique.

Le ballon plonge dans un bain d'huile chauffé par un petit bec Bunsen.

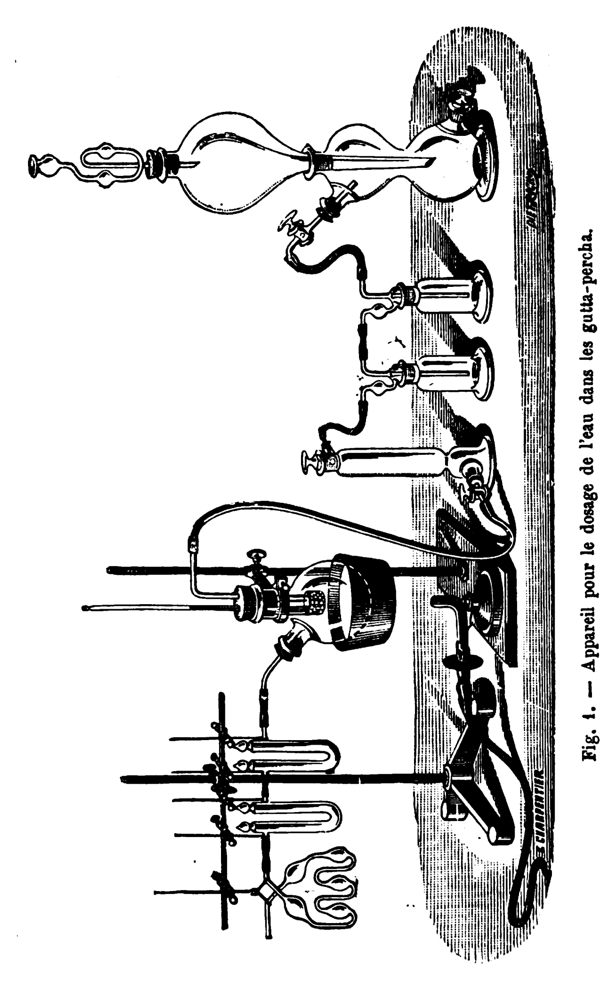


Fig. 1. — Appareil pour le dosage de l'eau dans les gutta-percha.

L'acide carbonique, obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique sur des fragments de marbre blanc, est produit dans un appareil de Kipp suivi de flacons

laveurs contenant, le premier une dissolution de bicarbonate de potasse destinée à arrêter l'acide chlorhydrique entraîné, le second, de l'acide sulfurique à 66° qui dessèche le gaz. Pour plus de précaution, une éprouvette à dessécher les gaz, remplie de ponce sulfurique, est placée entre le flacon laveur et le ballon.

Pour obtenir la dessiccation complète de l'échantillon de gutta-percha (on prend habituellement 1 gramme), il faut faire fonctionner l'appareil pendant six ou sept heures.

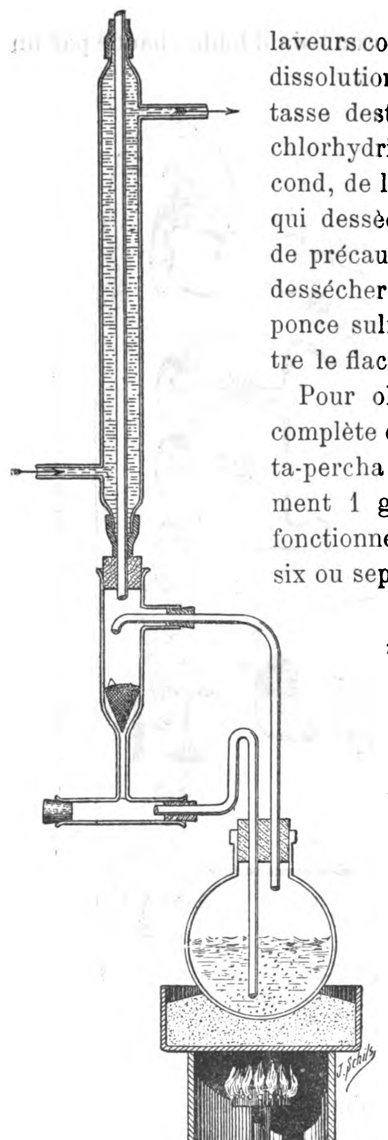


Fig. 2. — Appareil pour le dosage des impuretés de la gutta-percha.

2° *Dosage des impuretés.*—Ce dosage s'effectue très facilement à l'aide de l'appareil à épuisement de M. F. Jean que représente la *fig.* 2.

On pèse de $0^{gr},5$ à 1 gramme de l'échantillon à examiner; on le divise en menus fragments que l'on introduit dans un filtre taré, placé lui-même dans un cône en toile de platine.

Ce cône est mis en-

suite dans l'allonge de l'appareil; cette allonge est en communication par deux tubes avec le ballon contenant du chloroforme pur. Un réfrigérant, dans lequel circule constamment un courant d'eau froide et destiné à condenser les vapeurs de chloroforme, se place à la partie supérieure de l'allonge.

Le ballon repose sur un bain de sable chauffé très doucement par un petit bec Bunsen. Sous l'action d'une faible chaleur, le chloroforme se vaporise, se dégage par un des tubes, et s'écoule goutte à goutte sur la gutta-percha qu'il dissout peu à peu. La dissolution, passant à travers le filtre, s'écoule ensuite dans le ballon par le second tube.

Toutes les impuretés restant sur le filtre, il suffit de peser ce dernier après l'avoir desséché, pour avoir le poids des matières étrangères.

La dessiccation doit se faire dans l'étuve à acide carbonique servant au dosage de l'eau.

3° *Dosage des cendres.* — Le dosage des cendres s'effectue en incinérant un poids connu de gutta-pe cha dans une capsule de platine ou de porcelaine.

La gutta-percha, comme toutes les substances organiques, contient toujours une très petite quantité de matières minérales qui ne dépassent jamais 0,5 p. 100.

4° *Dosage de la gutta pure et des résines.* — La fluavile et l'albane étant solubles dans l'alcool absolu bouillant, tandis que la gutta pure est insoluble dans ce réactif, il suffit d'utiliser cette propriété pour effectuer la séparation.

Cette opération se fait très facilement dans l'appareil que représente la *fig.* 3.

L'échantillon à examiner, découpé en petits fragments et pesé ($0^{gr},5$ à 1 gramme), est placé dans un

petit panier en platine, percé de petits trous, et suspendu à l'intérieur d'un ballon contenant de l'alcool absolu. On chauffe au bain-marie ou au bain de sable et les vapeurs d'alcool qui se condensent dans le réfrigérant de Liebig, monté à reflux, retombent dans le ballon.

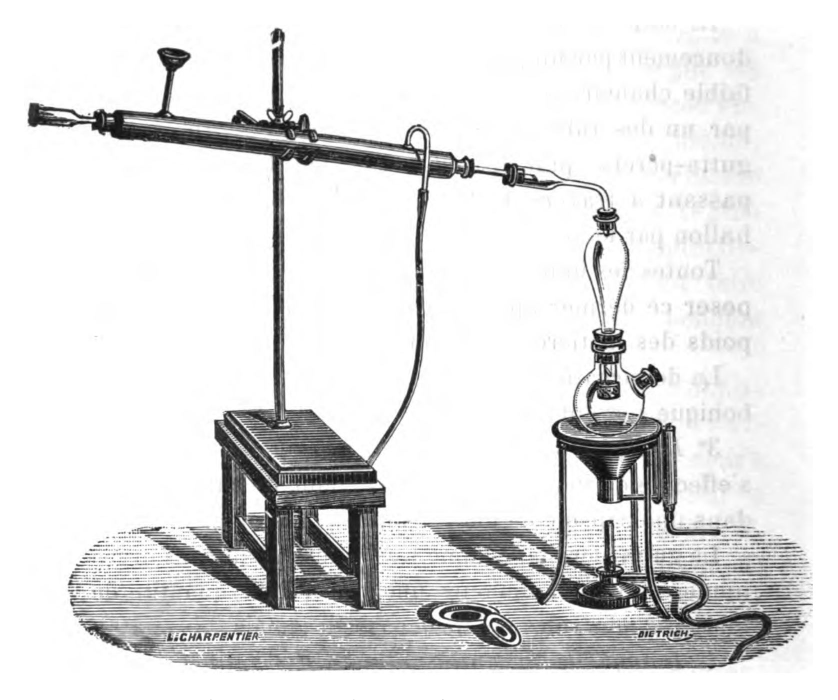


Fig. 3. — Appareil pour le dosage de la gutta pure.

Pendant la première partie de l'opération, le panier doit plonger à moitié dans l'alcool bouillant. Au bout de cinq ou six heures d'ébullition, on le relève de manière à ce qu'il ne touche plus le liquide et on continue à faire bouillir pendant le même laps de temps. Cette seconde opération a pour but de laver complè-

tement la gutta et d'enlever les dernières traces de résines.

Cet appareil, que j'ai utilisé pendant plusieurs années, présente toutefois l'inconvénient de laisser passer à travers les trous du panier de petites parcelles de gutta-percha, entraînées par les mouvements du liquide en ébullition. Pour obvier à ce défaut, j'ai remplacé le panier par un cône en toile de platine contenant un filtre taré, dans lequel se place l'échantillon, et l'allonge ordinaire par un tube spécial que montre la *fig.* 4.

Pendant la première partie de l'opération, le cône est suspendu de manière à plonger à moitié dans l'alcool; pendant la seconde, on le suspend dans le tube comme le montre la figure.

Fig. 4. — Modification de l'appareil servant au dosage de la gutta pure.

L'opération terminée, les résines sont complètement dissoutes et la gutta pure ainsi que les impuretés, (préalablement dosées dans une autre opération) restent sur le filtre. Il n'y

a plus qu'à sécher le filtre dans l'étuve à acide carbonique, puis à peser.

La perte de poids subie par la gutta-percha correspond à la quantité de résines (albane et fluavile) dissoutes par l'alcool, augmentée du poids de l'eau qu'un dosage préalable a d'ailleurs fait connaître. En retranchant le poids de cette dernière, on obtient celui de la fluavile et de l'albane réunies.

Les essais chimiques faits simultanément avec les essais électriques (mesure de la résistance d'isolement et de la capacité) permettent d'apprécier exactement la valeur d'une gutta-percha au point de vue de son emploi comme diélectrique.

De nombreuses expériences ont amené M. Lagarde à considérer les gutta-percha ayant au maximum 0,5 p. 100 de matières minérales et 5 p. 100 d'eau comme assez bonnes quand elles contiennent au moins 50 p. 100 de gutta pure, comme bonnes quand elles en renferment au moins 60 p. 100 et comme très bonnes à partir de 65 p. 100.

J.-A. Montpellier.

THÉORIE D'UN CONDENSATEUR

INTERCALÉ

DANS LE CIRCUIT SECONDAIRE D'UN TRANSFORMATEUR (*)

Dans une note précédente (**), je me suis proposé d'étudier les phénomènes qui se produisent lorsqu'on intercale un condensateur dans le circuit secondaire d'un transformateur. Une erreur de signe s'est glissée dans le système d'équations dont je suis parti, de sorte que j'ai traité, en réalité, un problème un peu plus général que celui que j'ai indiqué. En effet, les résultats obtenus correspondent au cas ou le circuit secondaire contient également une source d'électricité de force électromotrice variable, qui doit, en outre, répondre à la condition particulière d'être en retard d'un quart de période sur le courant primaire et de posséder une valeur maxima de $e = 2\,\mathrm{M}\,\mathrm{I}_0\,\omega$. Cette association, d'une forme spéciale, de deux alternateurs, par l'intermédiaire d'un transformateur, dont le coefficient d'induction mutuelle est ainsi déterminé, offre un certain intérêt au point de vue théorique, car elle forme justement le cas complémentaire de celui où l'on n'emploie qu'un transformateur simple. En effet, dans ce dernier

(*) Note de M. Désiré Korda (*Comptes rendus*, 12 septembre 1892).

(**) *Comptes rendus*, séance du 16 août 1892 (v. *Annales télégraphiques*, présent volume, p. 333).

cas, le signe de M, dans la deuxième équation du système primitif, doit être négatif, et par conséquent, en rendant, dans les formules des résistances apparentes et de la capacité, le signe de M^2 négatif, on retrouve les expressions de ces quantités pour le cas où le secondaire du transformateur est simplement mis en série sur un condensateur et ne renferme aucune autre source électrique.

L'équation fondamentale s'écrit alors, en gardant les mêmes notations que dans la note précitée :

$$(1) \quad \begin{cases} (Ll - M^2)\dfrac{d^3i}{dt} + (Rl + rL)\dfrac{d^2i}{dt^2} + \left(Rr + \dfrac{L}{K}\right)\dfrac{di}{dt} + \dfrac{R}{K}i \\ = E_0\left(r\omega\cos\omega t - \dfrac{Kl\omega^2 - 1}{K}\sin\omega t\right), \end{cases}$$

dont l'intégrale générale est de la forme

$$(2) \qquad i = ae^{-\delta_1 t} + be^{-\delta_2 t} + ce^{-\delta_3 t} + I,$$

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ étant les racines de l'équation.

$$(3) \quad (Ll - M^2)\delta^3 - (Rl + rL)\delta^2 + \left(Rr + \frac{L}{K}\right)\delta - \frac{R}{K} = 0,$$

dont le discriminant est

$$(4) \quad \begin{cases} D = 4\left[(Ll - M^2)^2\dfrac{R^2}{K^2} + \dfrac{1}{27}(Ll - M^2)\left(Rr + \dfrac{L}{K}\right)^3 + \dfrac{1}{27}(Rl + rL)^3\dfrac{R}{K}\right] \\ \quad - 3\left[(Ll - M^2)\dfrac{R}{K} + \dfrac{1}{9}(Rl + rL)\left(Rr + \dfrac{L}{K}\right)\right]^2. \end{cases}$$

Pour $D > 0$, on a deux racines imaginaires indiquant, pour le début, une décharge oscillante; pour $D \leqq 0$, on a toutes les racines réelles et une décharge simple, comme état variable. Une fois le régime régulier établi, on a $i = I = \dfrac{E}{\rho}$, en désignant par ρ la résistance

apparente du primaire dont le carré a la valeur

$$(5)\quad \begin{cases} \rho^2 = R^2 + L^2\omega^2 + \dfrac{M^2\omega^2}{r} \\ \times\left(2R + \dfrac{M^2\omega^2}{r} - 2\dfrac{L}{r}\dfrac{Kl\omega^2 - 1}{K}\right)\left(1 - \dfrac{1}{1 + \left(\dfrac{rK\omega}{Kl\omega^2 - 1}\right)^2}\right). \end{cases}$$

Cette formule indique qu'il ne pourra se présenter, dans la réalité, que le seul cas où la courbe de troisième degré, représentant la relation entre ρ^2 et la capacité K, n'a aucun point commun avec la droite $y = R^2$. En effet, pour qu'on puisse avoir $\rho^2 = R^2$, il faudrait une capacité imaginaire

$$(6)\qquad K = L\frac{\mu\omega \pm \sqrt{-1}\sqrt{\nu}}{\mu^2\omega^2 + \nu\omega} = \alpha + i\beta,$$

en posant

$$\mu = Ll - M^2 \quad \text{et} \quad \nu = 2M^2Rr + L^2r^2.$$

Par contre, pour la capacité réelle $K = \alpha$, la valeur de la résistance apparente devient (*)

$$(7)\qquad \rho = \sqrt{R^2 + \frac{L^2\nu}{(M^2\mu\omega^2 - \nu)^2 + L^2r^2\mu^2\omega^4}};$$

ω étant grand, cette valeur ne diffère que très peu de celle de la résistance ohmique. La capacité correspondante peut s'écrire

$$(8)\qquad K = \frac{1}{\left(1 - \dfrac{\Lambda}{\lambda + \Lambda}\right)l\omega^2 + \dfrac{\nu}{L}},$$

(*) Dans le cas étudié précédemment ρ^2 descendait, pour $K = \alpha$ au-dessous de R^2, de la façon suivante :

$$\rho^2 = R^2 - \frac{L^2\nu}{(\nu - M^2\mu\omega^2)^2 + L^2r^2\mu^2\omega^4},$$

en posant :

$$\mu = M^2 + Ll \quad \text{et} \quad \nu = 2M^2Rr - L^2r^2.$$

La symétrie avec la formule (7) par rapport à R^2 est à remarquer.

λ est, en général, très grand par rapport à Λ; la capacité K, comparée avec celle qu'on aurait dû intercaler directement dans le primaire pour équilibrer l'effet de la self-induction L, est donc réduite sensiblement *dans le rapport du carré des nombres des spires du transformateur.*

Du reste (7) n'est pas encore la valeur minima de ρ. En effet, le minimum et le maximum ont lieu, en faisant la capacité égale à

$$(9)\quad K = \frac{1}{2}\,\frac{(2Ll - M^2)\omega^2 - 2Rr \pm \sqrt{(M^2\omega^2 + 2Rr)^2 + 4L^2r^2\omega^2}}{(Ll - M^2)\,l\omega^4 - (Lr + 2lR)\,r\omega^2} = \gamma \pm \delta,$$

(avec le signe supérieur pour le minimum et avec le signe inférieur pour le maximum) et l'on a alors :

$$(10)\quad \rho^2 - R^2 = \frac{\mu^2\omega^4 = \nu\omega^2}{r^2 + l^2\omega^2} \pm \frac{M^2\omega^2}{(r^2 + l^2\omega^2)}\,\frac{\sqrt{(M^2\omega^2 + 2Rr)^2 + 4L^2r^2\omega^2}}{(r^2\omega^2 + l^2\omega^4)(\gamma \pm \delta)^2 - 2l\omega^2(\gamma \pm \delta) + 1}.$$

Une méthode graphique très simple et exacte permet également de déterminer tous les éléments du problème qui nous occupe. A cet effet, on choisit d'abord une longueur arbitraire, représentant la force électromotrice efficace du primaire. On peut tracer alors, suivant la méthode connue de M. Blakesley, les forces contre-électromotrices qui se rencontrent dans les deux circuits. On trouve finalement la longueur qui représente, en grandeur et en phase, la force électromotrice aux bornes de la source électrique, dont la valeur est une des données du problème. Nous obtenons donc de cette façon l'échelle que nous devons appliquer à notre épure pour avoir les solutions cherchées.

SUR LES ÉTALONS MERCURIELS

DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE (*)

L'étude des procédés électriques de mesure des températures figurant depuis plusieurs années au programme des travaux du Bureau international des poids et mesures, j'ai entrepris, dans cette direction, une série de recherches préliminaires, en commençant par un examen détaillé des étalons mercuriels; j'avais du reste été préparé à ce travail par de nombreuses comparaisons de résistances auxquelles M. Benoit avait bien voulu m'associer, lorsque, après avoir construit les étalons prototypes déposés à la Direction générale des télégraphes, il se proposa d'en créer des copies.

Les variations que les étalons mercuriels peuvent subir sont de diverses natures : les unes tiennent à l'enveloppe, les autres à la résistance spécifique du mercure. Les premières peuvent être superficielles ou profondes, et, si l'on songe que l'exactitude aujourd'hui désirable est le *cent millième*, on ne sera pas d'avance très rassuré sur les effets possibles de ces variations.

Dans un étalon dont la section est de 1 millimètre carré, le cent millième correspond à une variation du

(*) D'après deux notes présentées à l'Académie des sciences, complétées ici par l'auteur.

diamètre égale à 0,005 μ, 100 fois moindre que l'épaisseur des pellicules donnant les couleurs de premier ordre des lames minces, et il n'est pas certain *a priori* que le contact entre le mercure et le verre sera constant à ce degré d'approximation. Il n'est pas certain non plus que des lavages répétés n'altèrent pas la surface du verre d'une quantité supérieure à cette valeur.

Sur ce point, l'expérience est tout à fait rassurante; de nombreux étalons furent vidés, nettoyés, remplis de nouveau et comparés à d'autres étalons gardés comme témoins. Lorsque le remplissage était fait avec soin, on n'a pas constaté de différences autorisant à admettre que la variation avait dépassé le cent millième.

L'effet des modifications profondes du verre peuvent être calculées, grâce aux expériences de thermométrie. Le degré du thermomètre à mercure correspond à 1/6500 environ du volume du réservoir. Or, on a constaté que, dans un thermomètre en cristal fortement recuit, le zéro remonte parfois de 25 degrés; le temps seul produit une ascension souvent supérieure à 1 degré. La valeur d'un étalon électrique n'est affectée que suivant les dimensions linéaires. Les variations mentionnées ci-dessus correspondraient donc à 1/780 et 1/19500 pour les étalons mercuriels. Dans le verre dur, heureusement, les variations permanentes qui se produisent avec le temps, ou les variations accidentelles dues à des températures inférieures à 100° n'atteignent pas 0,1 degré, correspondant à moins de 1/200000 pour les étalons dont nous nous occupons. Mais il résulte de ce calcul que l'emploi du cristal doit être proscrit pour les étalons de précision.

La résistance du mercure est affectée par la tempé-

rature et la pression. Ce dernier effet a été étudié par M. Barus, et ses résultats, conformes à ce qu'on aurait pu prévoir d'après l'étude des métaux solides, montrent qu'en pratique l'action de la pression est négligeable. Il n'en est pas de même de l'effet de la température, et les divergences qui subsistent entre les résultats des mesures récentes relatives à cette variation m'ont engagé à reprendre la question, avec des appareils électriques perfectionnés, et en utilisant les ressources thermométriques du bureau international (*).

Un premier groupe de recherches, exécutées dans le courant de l'hiver 1889-1890, me donna un résultat que je ne crus pas entièrement libéré de certaines erreurs systématiques ; je recommençai tout le travail dans l'hiver suivant, en profitant de l'expérience acquise.

Méthode. — Un étalon mercuriel de 1 ohm environ, amené successivement à diverses températures, était comparé à un autre étalon maintenu à une température invariable ; les résistances étaient ajustées de telle sorte que leurs écarts positifs et négatifs fussent à peu près de même amplitude, dans l'intervalle de température des comparaisons.

Les contacts étaient éliminés par le procédé suivant : à côté de chaque étalon était placé un vase en verre contenant quelques kilogrammes de mercure, et que l'on maintenait à la même température que l'étalon voisin. Soient I, II les étalons, I', II' les vases qui leur

(*) La plupart des manuels donnent encore les résultats classiques de Matthiessen, si éloignés de la vérité que, en calculant par sa formule la variation de la résistance d'un étalon entre 0° et 100°, on commet une erreur de 30 p. 100.

correspondent. On formait successivement, dans la même branche du pont, les circuits :

pont — I — II′ — pont, pont — I′ — II — pont.

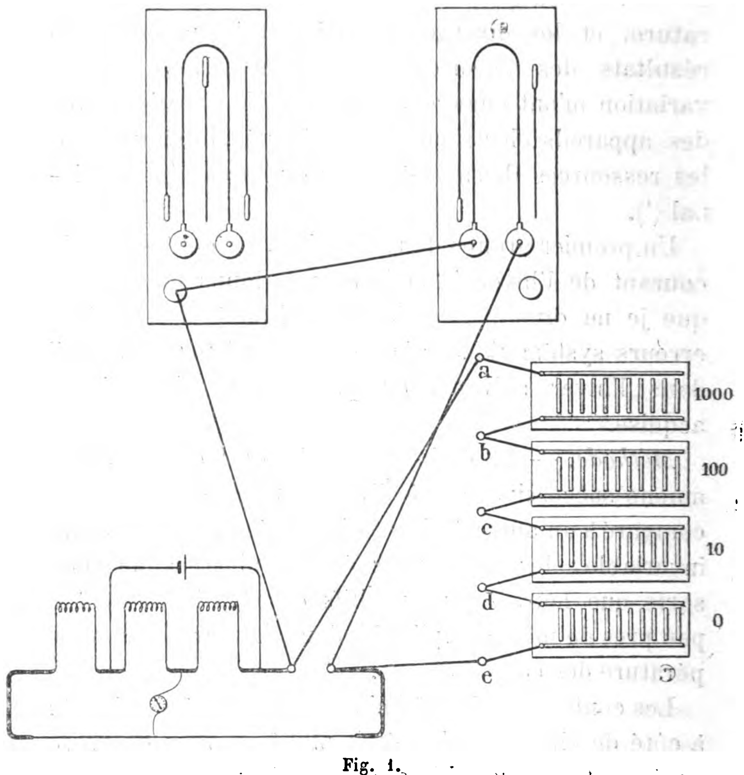


Fig. 1.

De cette manière le circuit entier des tiges et des contacts demeurait invariable.

Dans les premières recherches, la différence des étalons était mesurée par la résistance d'une portion d'un fil de laiton exactement étalonné. Dans le second groupe, chaque mesure a été en outre répétée en intro-

duisant en dérivation sur les prises de contact du pont une résistance choisie de manière à ramener le galvanoscope au zéro. La *fig.* 1 représente le dispositif.

Dans l'emploi de cette méthode l'erreur de la comparaison dépend de l'erreur relative des dérivations multipliée par le rapport de chacune des résistances à sa dérivation ; dans mes mesures, ce rapport n'a guère dépassé 1/30. L'exactitude cherchée étant de l'ordre du cent millième, il suffisait donc que les dérivations fussent connues à 1/3000 près, ce qui ne présente aucune difficulté.

Étalons et contacts. — Afin de n'être pas trop limité dans l'intensité des courants à employer, on a choisi

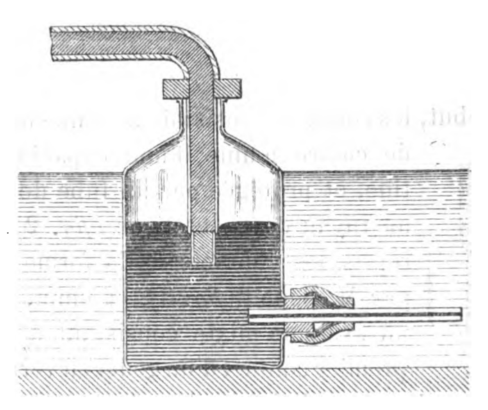


Fig. 2.

pour la construction des étalons, des tubes assez gros, contenant environ 30 grammes de mercure par ohm ; dans mes premières recherches, le tube débouchait directement dans le godet terminal (*fig.* 2) ; mais craignant un effet perturbateur du contact sur la portion du tube protégée par un bouchon de liège et un tuyau de caoutchouc, je remplaçai, pour le second groupe, les

premiers godets par d'autres, munis d'une tubulure latérale permettant à l'étalon de prendre dans son entier la température du bain (*fig.* 3).

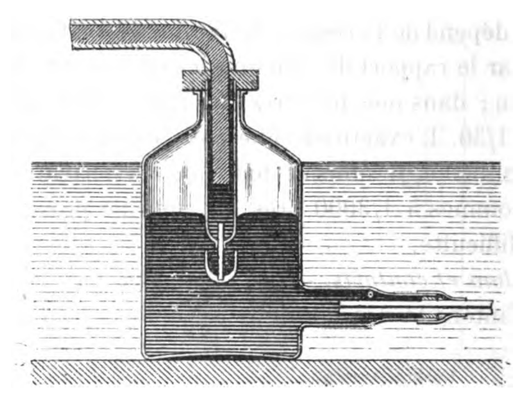


Fig. 3.

Au début, les contacts consistaient en une forte barre de cuivre munie d'une capsule de platine, et protégée par un tube de verre et un tuyau de caoutchouc (*fig.* 2); puis je repris les contacts de la forme indiquée par M. Benoît (*fig.* 3), et enfin, j'adoptai un système mixte consistant à coiffer le premier contact d'un godet en verre (*fig.* 4).

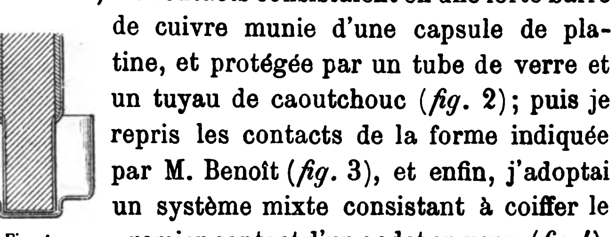


Fig. 4.

Comparaisons. — J'ai fait, dans le premier groupe, trente-sept séries de comparaisons dans l'eau et huit séries dans la glace et la vapeur d'eau, ces dernières avec un étalon vertical; dans le second groupe j'ai fait trente-deux séries de mesures par le fil et autant par les dérivations; chaque série comprenait vingt-huit mesures. Ces séries ont été espacées de 2° en 2° environ, entre 0° et 61°; elles étaient réparties de telle sorte qu'on est revenu plusieurs fois aux températures hautes

et basses pour éliminer une variation possible des étalons avec le temps, variation qui, du reste, n'a pas été constatée.

Résultats. — Pour les premières recherches je donnerai seulement la résistance apparente du mercure dans le verre en fonction de l'échelle centigrade des thermomètres en verre dur ; la formule trouvée est la suivante :

$$r_t = r_0\,(1 + 0{,}000\,8726\,t + 0{,}000\,001\,057\,t^2).$$

Les résultats complets de mes dernières mesures sont donnés ci-après :

1° Variation apparente de la résistance du mercure dans le verre dur, en fonction du thermomètre à mercure.

a. Par le fil :

$$r_t = r_0 \left\{ \begin{array}{llll} 1 + & 0{,}000\,875\,37\,t & + & 0{,}000\,001\,0621\,t^2 \\ \pm & \phantom{0{,}000\,875\,}55 & \pm & \phantom{0{,}000\,001\,06}89 \end{array} \right\};$$

b. Par les dérivations :

$$r_t = r_0 \left\{ \begin{array}{llll} 1 + & 0{,}000\,876\,71\,t & + & 0{,}000\,001\,0469\,t^2 \\ \pm & \phantom{0{,}000\,876\,}44 & \pm & \phantom{0{,}000\,001\,04}72 \end{array} \right\}.$$

2° En fonction de l'échelle normale :

a. . . . $r_T = r_0\,(1 + 0{,}000\,880\,23\,T + 0{,}000\,001\,0063\,T^2)$,

b. . . . $r_T = r_0\,(1 + 0{,}000\,881\,57\,T + 0{,}000\,000\,9909\,T^2)$.

En utilisant les mesures de MM. Benoît et Chappuis sur la dilatation du verre, on trouve, en fonction de l'échelle normale, la variation réelle de la résistance spécifique du mercure.

a. . . . $\rho_T = \rho_0\,(1 + 0{,}000\,887\,45\,T + 0{,}000\,001\,0181\,T^2)$

b. . . . $\rho_T = \rho_0\,(1 + 0{,}000\,888\,79\,T + 0{,}000\,001\,0022\,T^2)$.

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont très concordants, comme on en juge par la simple

inspection des formules, en remarquant que les apports des termes en T et en T^2 se compensent sensiblement. Le tableau suivant donne les valeurs de la résistance apparente du mercure dans le verre en fonction de l'échelle normale, calculée par les formules 2_a et 2_b :

T	VALEURS OBTENUES PAR le fil.	les dérivations.
0.	1,00000	1,00000
10.	1,00890	1,00891
20.	1,01801	1,01803
30.	1,02731	1,02734
40.	1,03682	1,03685
50.	1,04653	1,04656
60.	1,05644	1,05646

La différence entre les dernières mesures et les premières justifie mes craintes relatives aux erreurs systématiques de celles-ci.

En utilisant les nombres ci-dessus pour la réduction des expériences relatives à la détermination de l'ohm, on trouvera des valeurs un peu plus élevées que celles qui ont été données par la plupart des observateurs, en sorte que la moyenne réduite des bonnes mesures atteint largement la valeur $106,3 \frac{\text{cm}}{\text{microlitre}^{\frac{2}{3}}}$ Hg à 0° (*).

MM. Kreichgauer et Jäger viennent de publier (*) le

(*) Nous adoptons ici, à l'exemple de M. von Helmholtz et de l'Association britannique, une unité de section égale à la face du cube contenant 1 milligramme d'eau dans les conditions normales; on pourrait lui donner le nom de *millimètre carré pesé*, qui diffère du millimètre carré réel d'une quantité égale à l'erreur relative du litre élevée à la puissance 2/3.

(*) *Annales de Wiedemann*, t. XLVII, p. 513; décembre 1892.

résultat de leurs mesures relatives à la variation thermique de la résistance du mercure. Ces mesures, exécutées à l'Institut physico-technique de l'empire d'Allemagne, ont conduit à une formule très voisine de celle que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie dans sa séance du 12 septembre 1892, ce que les auteurs font remarquer dans leur Mémoire; dans son rapport, présenté dernièrement au Reichstag, M. von Helmholtz insiste aussi sur cette concordance. Je me propose de montrer que l'accord entre nos deux formules est encore plus parfait qu'on ne pourrait le croire à première vue.

En admettant, comme résultat définitif la moyenne brute des fonctions établies par deux méthodes différentes, la résistance vraie du mercure en fonction du thermomètre à hydrogène sera donnée, d'après mes mesures, par la formule suivante

$$(1) \qquad \rho_T = \rho_0(1 + 0{,}0008881\,T + 0{,}00000101\,T^2);$$

MM. Kreichgauer et Jäger donnent la formule

$$(2) \qquad \rho_T = \rho_0(1 + 0{,}0008827\,T + 0{,}00000126\,T^2),$$

trouvée comme résultat moyen des mesures faites sur cinq étalons mercuriels, entre 14°,7 et 28°,2, combinées avec les comparaisons à 0°.

Les valeurs calculées par les formules (1) et (2) se croisent vers 22° et divergent au maximum de 0,00003 entre 0° et 25°.

Si l'on range par ordre de températures croissantes les erreurs résiduelles des comparaisons de MM. Kreichgauer et Jäger, on forme le tableau suivant, dans lequel l'unité est le cent millième :

Températures.	Copies mercurielles					Moyennes.
	n° 110.	n° 111.	n° 114.	n° 115.	n° 118.	
14°,7.	0	»	— 3	»	— 2	— 2
16 ,3.	— 4	— 1 / 0 / — 3	— 2	— 1 / + 2	— 8	— 2
19 ,5.	— 3	— 1	+ 2	»	+ 3	0
23 ,2.	+ 4	+ 2	»	+ 1	»	+ 2
23 ,5.	+ 3	+ 1	»	0	»	+ 1
28 ,2.	— 1	— 4	»	— 1 / — 2	»	— 2

La répartition des erreurs résiduelles montre que les observations seraient mieux représentées par une courbe plus droite, c'est-à-dire par une formule dans laquelle le terme en T^2 serait plus petit. Les comparaisons à 0°, ayant été faites dans un autre groupe d'expériences, ne doivent pas être admises à égalité dans l'établissement de la formule.

Or on sait que le coefficient du terme en T^2 est déterminé, toutes choses égales d'ailleurs, avec une précision proportionnelle au carré de l'intervalle de température dans lequel on a opéré ; ce fait, rapproché de la répartition des erreurs résiduelles, amène à considérer le coefficient quadratique de la formule (1) comme plus probable que celui de la formule (2).

Considérons une certaine fonction expérimentale E_t, d'une variable t donnée par

$$E_t = E_0(1 + \alpha t + \beta t^2), \tag{3}$$

et supposons que les mesures indépendantes fassent envisager un certain coefficient β' comme plus probable que β. On sera conduit à adopter, au lieu de α, une valeur α', telle que la fonction

$$E'_t = E_0(1 + \alpha' t + \beta' t^2) \tag{4}$$

se rapproche le plus possible de E_t entre certaines valeurs de t, par exemple entre les limites extrêmes des expériences. Si l'on pose la condition

$$\int_{t_1}^{t_2} (E'_t - E_t)^2 dt = \text{minimum},$$

on trouve

$$\alpha' = \alpha + \frac{3}{4}(\beta - \beta')\frac{t_2^4 - t_1^4}{t_2^3 - t_1^3}.$$

Si, donc, on considère le coefficient β de la formule (1) comme exact, on sera conduit à appliquer au coefficient α de la formule (2) la correction

$$\Delta\alpha = \frac{3}{4}(0{,}00000025)\frac{(28{,}2)^4 - (14{,}7)^4}{(28{,}2)^3 - (14{,}7)^3} = 0{,}0000057.$$

Le nouveau coefficient α sera 0,0008884 ; il diffère de $\frac{1}{3000}$ seulement de celui que j'ai trouvé. Cet accord est d'autant plus remarquable que les mesures ont été faites avec du mercure purifié par des procédés différents, contenu le mien dans du verre dur français, celui de MM. Kreichgauer et Jäger dans du verre d'Iéna. J'ai exécuté mes comparaisons par deux méthodes dérivées de celle du pont de Wheatstone, tandis qu'à Berlin on s'est servi de la dérivation croisée ; j'ai employé les contacts Benoît modifiés, tandis que les étalons de l'Institut physico-technique ont leurs contacts soudés dans le verre. La concordance des résultats, qui, étant donné le grand nombre des observations, ne peut pas être due à un simple hasard, montre quelle confiance peuvent inspirer les étalons mercuriels convenablement manipulés.

Ch.-Ed. Guillaume.

CHRONIQUE.

Traitement électrique des affections saturnines.

On sait que les ouvriers exerçant certains métiers, exigeant la manipulation de substances à base de plomb, sont sujets à une intoxication particulière, « le saturnisme », qui se manifeste notamment par des coliques, un liséré bleu autour des gencives, et souvent par la paralysie des muscles extenseurs des bras. Tout le monde connaît les effets redoutables du plomb chez les peintres en bâtiment qui se servent de couleurs à base de ce métal.

M. le docteur Semmola, sénateur italien et professeur à la Faculté de Naples, a entretenu l'Académie de médecine de cette question et présenté au monde médical une nouvelle méthode pour traiter les malades affectés de saturnisme chronique.

Le docteur rapporte que, dès 1877, se basant sur l'action physiologique du courant continu, employé pour activer les échanges nutritifs de l'organisme et produire un mouvement de désassimilation plus considérable, il eut l'idée, pour provoquer l'élimination du plomb contenu dans l'organisme des saturnins, de proposer la méthode de l'électrisation par l'action du courant constant appliqué sur des centres nerveux ganglionnaires, c'est-à-dire en plaçant, pendant la moitié de la séance, le pôle positif sur la langue et le pôle négatif au creux épigastrique. Pendant l'autre moitié de la séance, on promène le pôle positif sur les côtés de la colonne vertébrale, et le pôle négatif sur l'abdomen.

Les expériences basées sur cette idée théorique furent faites avec l'aide du docteur Vizioli, au moyen d'une pile de Wollaston de dix grands éléments. La durée de chaque application variait entre dix et quinze minutes chaque matin.

Les malades supportaient très bien le courant, quoiqu'il fût d'une grande intensité (100 à 150 milliampères).

Les premiers malades étaient affectés de coliques et d'atrophies musculaires considérables des mains et des doigts ; on constatait chez eux un liséré gingival caractéristique, et l'aspect général toujours cachectique avec apparence anémique des muqueuses labiales.

L'analyse des urines, faite avant de commencer le traitement, ne révélait aucune trace de plomb.

Après trois ou quatre jours de traitement, on commença à trouver des traces de plomb dans les urines, et cette quantité alla toujours en augmentant pendant les quatre premières semaines du traitement.

A la fin de la troisième semaine, le liséré gingival avait disparu et la nutrition des muscles atrophiés était considérablement améliorée.

Après une durée de traitement variable entre trois et quatre mois, les malades qui avaient été soumis à ces applications furent tous guéris.

Depuis cette époque, M. Semmola a poursuivi ses expériences.

Le savant correspondant de l'Académie rapporte qu'il a obtenu par sa méthode la guérison complète et permanente des malades présentant la forme de colique simple et la paralysie des muscles extenseurs. Il a, de plus, constaté une amélioration générale considérable avec diminution de l'albuminerie chez les malades offrant la forme cachectique avec albuminurie, mais sans altérations vasculaires apparentes.

(*Bulletin international de l'électricité.*)

Sur la production de l'étincelle de l'oscillateur de Hertz dans un diélectrique liquide, au lieu de l'air (*).

Nous avons récemment essayé de plonger dans un liquide isolant les deux petites boules de 3 centimètres à 4 centimètres

(*) Note de MM. Sarasin et de la Rive.

de diamètre, entre lesquelles s'opère la décharge du Ruhmkorff dans l'oscillateur hertzien, et nous avons trouvé qu'on obtient ainsi des effets plus intenses sur le résonateur.

Le liquide employé en premier lieu a été l'huile d'olive. Un bocal cylindrique de 20 centimètres de diamètre est percé latéralement de deux ouvertures par lesquelles pénètrent les tiges horizontales de l'oscillateur, au travers de bouchons soigneusement assujettis; les deux petites sphères qui terminent les tiges sont ainsi immergées dans le liquide où se produit l'étincelle. Quand on augmente progressivement la distance explosive, la tension des deux bornes arrive assez promptement à sa limite soit parce qu'elle est voisine de la tension maxima de l'inducteur, soit parce que l'étincelle circule autour du bocal de verre, au lieu de traverser la couche d'huile. Dans nos expériences, nous obtenons une étincelle d'un peu plus de 1 centimètre. Elle se produit régulièrement, accompagnée du son caractéristique, semblable à celui d'un choc, beaucoup plus intense que dans l'air.

L'effet sur le résonateur est très notablement augmenté par cette disposition. Dans le voisinage de l'oscillateur, l'étincelle prend un véritable éclat; à la distance de 10 mètres, pour les résonateurs de grand diamètre, $0^{m},75$ et 1 mètre, elle reste encore bien lumineuse et visible de loin. Les interférences de la force électromotrice, par réflexion sur une surface métallique plane, donnent les mêmes résultats que lorsque la décharge de l'oscillateur a lieu dans l'air, c'est-à-dire qu'elles donnent la longueur d'onde propre au résonateur employé.

L'huile se carbonise et perd sa transparence; mais si l'on emploie, comme nous le faisons, une capacité de deux litres, il n'y a pas trace d'échauffement : l'altération du liquide ne donne pas lieu à une altération d'intensité, en faisant fonctionner l'appareil pendant plus de vingt minutes. Cette constance, comparée à la diminution rapide dans l'air, à laquelle on doit remédier en essuyant fréquemment les boules, est un avantage notable.

Nous avons remplacé l'huile soit par l'essence de térébenthine, soit par le pétrole, et obtenu des résultats analogues. Seulement, quand on emploie ces liquides et en particulier le pétrole, il se produit une sorte d'ébullition, entre l'étincelle et

la surface, qui pourrait peut-être provoquer une combustion. Il résulte de ces premiers essais que l'huile est préférable.

(*Comptes rendus*, 19 septembre 1892.)

Procédé pour reconnaître la pureté des huiles de coprah et des huiles de palmiste (*).

A 30°-31° C. l'huile de Coprah (coco) pure est soluble dans deux fois son volume d'alcool absolu. A la même température, l'huile de palmiste est soluble dans quatre fois son volume d'alcool absolu.

Additionnées d'huile végétales ou de graisses animales peu solubles (addition au vingtième et au-dessous), l'une et l'autre deviennent presque insolubles dans les mêmes quantités d'alcool absolu, l'action dissolvante de ce dernier ne déterminant pas le fractionnement des parties, et le mélange ayant acquis une solubilité qui lui est propre et nullement dépendante des proportions de matières grasses solubles et insolubles qui le composent.

Ces différences de solubilité permettent de vérifier avec précision la pureté de ces huiles concrètes, dont l'analyse chimique ne donne que des résultats souvent incertains et quelquefois contradictoires, surtout pour de faibles mélanges.

MODE OPÉRATOIRE.

Première opération. — On agite, dans un tube à essai gradué en centimètres cubes, pendant une minute, 20 centimètres cubes de l'huile à examiner avec 40 centimètres cubes d'alcool à 90°. L'huile dépouillée de ces acides gras libres, et de ses impuretés se dépose dans le fond du tube. Ce traitement préliminaire, indispensable, peut donner certaines indications.

L'alcool à 95° absorbe une certaine quantité de matières grasses neutres, et l'huile dissout elle-même de 15 à 20 p. 100 d'alcool.

Le pouvoir dissolvant de l'huile diminue sensiblement par l'addition d'huiles insolubles, tandis que celui de l'alcool augmente par l'addition d'huiles solubles dans l'alcool à 95° ricin, résine, etc., huiles qu'on peut

(*) Note de M. Ernest Milliau.

alors facilement caractériser par leurs propriétés physiques et chimiques très tranchées.

Deuxième opération. — Dans un tube à essai, gradué en centimètres cubes, on traite 5 centimètres cubes de l'huile de coprah lavée à l'alcool à 95°, par 10 centimètres cubes d'alcool absolu, et l'on place le tube dans un bain-marie chauffé très exactement à 30°-31° C. Après quelques instants d'immersion, on agite vivement le tube pendant trente secondes et on le replace dans le bain-marie.

L'huile de coprah pure se dissout complètement, et la solution alcoolique est parfaitement limpide.

L'huile de coprah additionnée d'huiles insolubles (falsification la plus fréquente), arachide, sésame, coton, maïs, etc., ne se dissout sensiblement pas, et forme une masse trouble avec l'alcool absolu dont elle se sépare rapidement, pour tomber en fines gouttelettes au fond du tube où elle vient se rassembler. L'huile de coprah contenant de l'huile de palmiste se précipite, lorsque la proportion du mélange atteint 20 p. 100 ; au-dessous, la masse reste trouble.

La vérification de l'huile de palmiste se fait comme il vient d'être dit, en mettant 20 centimètres cubes d'alcool absolu, au lieu de 10, et en opérant toujours avec 5 centimètres cubes d'huile et à la température de 30°-31° C.

5 centimètres cubes d'huile de palmiste, contenant 20 p. 100 d'huile de coprah et au-dessus, se dissolvent dans 15 centimètres cubes d'alcool absolu ; dans les mêmes proportions, l'huile pure ne se dissout pas complètement et le mélange reste trouble.

La pureté des tourteaux de coprah et de palmiste se constate en extrayant par un dissolvant quelconque, une quantité suffisante d'huile, qu'on traite de la même manière (*).

(Extrait des *Comptes rendus*, 10 octobre 1892.)

Déplacements évolutifs d'un aimant sur le mercure, sous l'action d'un courant électrique (**).

Lorsque l'on dépose sur un bain de mercure *parfaitement pur* (condition essentielle) une aiguille aimantee légère (ai-

(*) Si l'on veut opérer à une température plus basse, la proportion d'alcool absolu doit être augmentée ; à 25°-26° par exemple, il faut la doubler, et mettre pour 5 centimètres cubes d'huile de coprah ou de palmiste, 20 centimètres cubes d'alcool dans le premier cas, et 40 centimètres cubes dans le second.

(**) Par M. C. Decharme.



guille à coudre de 3 ou 4 centimètres de longueur, effilée aux deux bouts) et que l'on fait aboutir dans le liquide les extrémités, en platine, des fils conducteurs d'un courant issu d'une pile de deux ou trois éléments au bichromate, l'aimant se déplace rapidement en différents sens, suivant les points de pénétration des rhéophores dans le mercure, par rapport à la position des pôles de l'aiguille. Ces dispositions présentent un grand nombre de combinaisons dont les principales seules seront examinées :

1° Le cas le plus simple est celui où les rhéophores plongent de chaque côté et à égale distance de l'aiguille, suivant une droite perpendiculaire à son axe, le *pôle positif* du courant étant *à gauche* et près du pôle austral de l'aiguille (en repos dans le méridien magnétique); celle-ci s'élance au loin perpendiculairement à la direction du courant. Si elle n'a pas dépassée le champ d'action du courant, elle revient bientôt sur ses pas, d'un mouvement très lent d'abord, puis accéléré, pour s'arrêter, après une ou deux oscillations, dans sa position d'équilibre, de manière que sa ligne neutre soit au-dessus du courant, à égale distance des rhéophores.

2° Si les rhéophores plongent encore perpendiculairement à l'aiguille, mais *d'un même côté* de celle-ci, le pôle négatif près du pôle austral; l'aiguille, après s'être élancée au loin pependiculairement à la direction du courant, revient, par un mouvement presque parallèle à elle-même, se placer entre les deux rhéophores dans la position précitée.

3° Si les rhéophores plongent dans le mercure *parallèlement* à l'aiguille, on verra celle-ci s'élancer au loin, d'abord parallèlement à la direction du courant, puis revenir, par un mouvement tournant, après un quart de révolution, se placer dans la position d'équilibre voulue par la convention d'Ampère (en se rappelant qu'ici le courant passe *sous* l'aiguille).

Ce déplacement initial de l'aiguille *parallèlement au courant* semble en opposition avec la règle précédente; mais il s'explique en remarquant que ce qui empêche l'aiguille d'obéir d'abord à l'action qui la sollicite, c'est sa grande facilité à se mouvoir dans le sens de sa longueur et la grande difficulté qu'elle éprouve, au contraire, à se déplacer dans le sens latéral, à cause du long ménisque qui l'entoure; elle est obligée, en

quelque sorte, de *louvoyer* (mouvement facilité par ses deux pointes) et de prendre des positions diverses, transitoires, pour arriver à la position finale précitée.

4° Un mouvement plus complexe se produit lorsque les rhéophores plongent suivant une droite perpendiculaire à l'aiguille, *d'un même côté*, le pôle austral se trouvant *à droite* du courant; par exemple, quand les rhéophores étant tous deux à droite de l'aiguille, le pôle négatif du courant est près du pôle austral, alors, l'aiguille, après s'être élancée au loin vient, après une demi-révolution, se placer dans la position normale.

5° Enfin, le cas le plus complexe est celui dans lequel les rhéophores plongent de *chaque côté de l'aiguille*, suivant une droite perpendiculaire à sa direction, le pôle négatif se trouvant à *gauche du pôle austral*, en sorte que l'aiguille est dans une position exactement inverse de celle que veut la convention d'Ampère. Pour arriver à sa position normale, l'aiguille s'élance d'abord au loin, puis revient, après une demi-révolution, dans la position normale.

Il est évident qu'en intervertissant l'ordre des pôles du courant, on obtiendra des figures de positions inverses des précédentes.

(*Comptes rendus*, 31 octobre 1892.)

Nécrologie.

Werner von Siemens.

Le docteur Siemens vient de mourir à Berlin, le 6 décembre dernier, à l'âge de soixante-quinze ans. Né, en 1816, aux environs de Hannovre, il fit ses études à Lubeck, et entra dans l'armée en 1834. Adonné dès cette époque à l'étude des sciences, Werner Siemens imagina bientôt un procédé de dorure électrique, breveté en 1841, et divers appareils ou procédés usités encore aujourd'hui dans l'industrie. L'électricité, pour sa part, lui doit l'introduction, dans la pratique courante, de la gutta-percha qu'il proposa comme isolant pour les câbles et de la presse à gutta qui lui permit de mettre son idée à exécution,

l'étalon mercuriel de résistance, le relais polarisé qui porte son nom, un système de transmission télégraphique simultanée, diverses méthodes de mesure pour les câbles sous-marins et souterrains, la machine dynamo avec armature en H, etc.

En 1850, il avait abandonné l'armée et pris, avec M. Halske, la direction d'une fabrique d'instruments électriques qui acquit en peu de temps une renommée universelle et d'où sortirent quantité d'appareils de télégraphie, de mesure, de chemins de fer et d'éclairage électrique.

Les mérites scientifiques de Werner Siemens, l'étendue de ses services industriels, l'avaient placé parmi les premiers des électriciens de cette époque. Les honneurs étaient venus récompenser ses longs et importants travaux : l'Académie des sciences de Berlin l'appelait à elle en 1874 et des titres de noblesse lui étaient accordés en 1888. Un grand nombre d'académies et de sociétés savantes s'honoraient de le compter parmi leurs membres, et sa voix y était toujours écoutée. Sa mort est une perte véritable pour la science et l'industrie électriques.

TABLE DES MATIÈRES.

TOME XIX. — ANNÉE 1892.

Numéro de Janvier-Février.

Numéro de Mars-Avril.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET SIGNALÉTIQUE
DES MATIÈRES.

TOME XIX. — ANNÉE 1892.

D

E

M

N

O

FIN DES TABLES.

Gérant : Vᵉ DUNOD. — IMPR. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.



